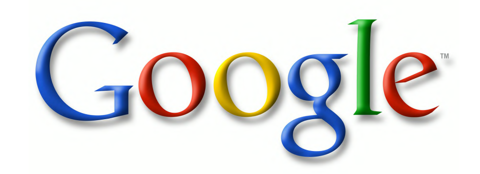
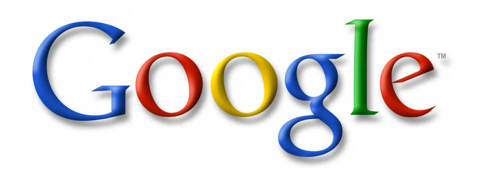






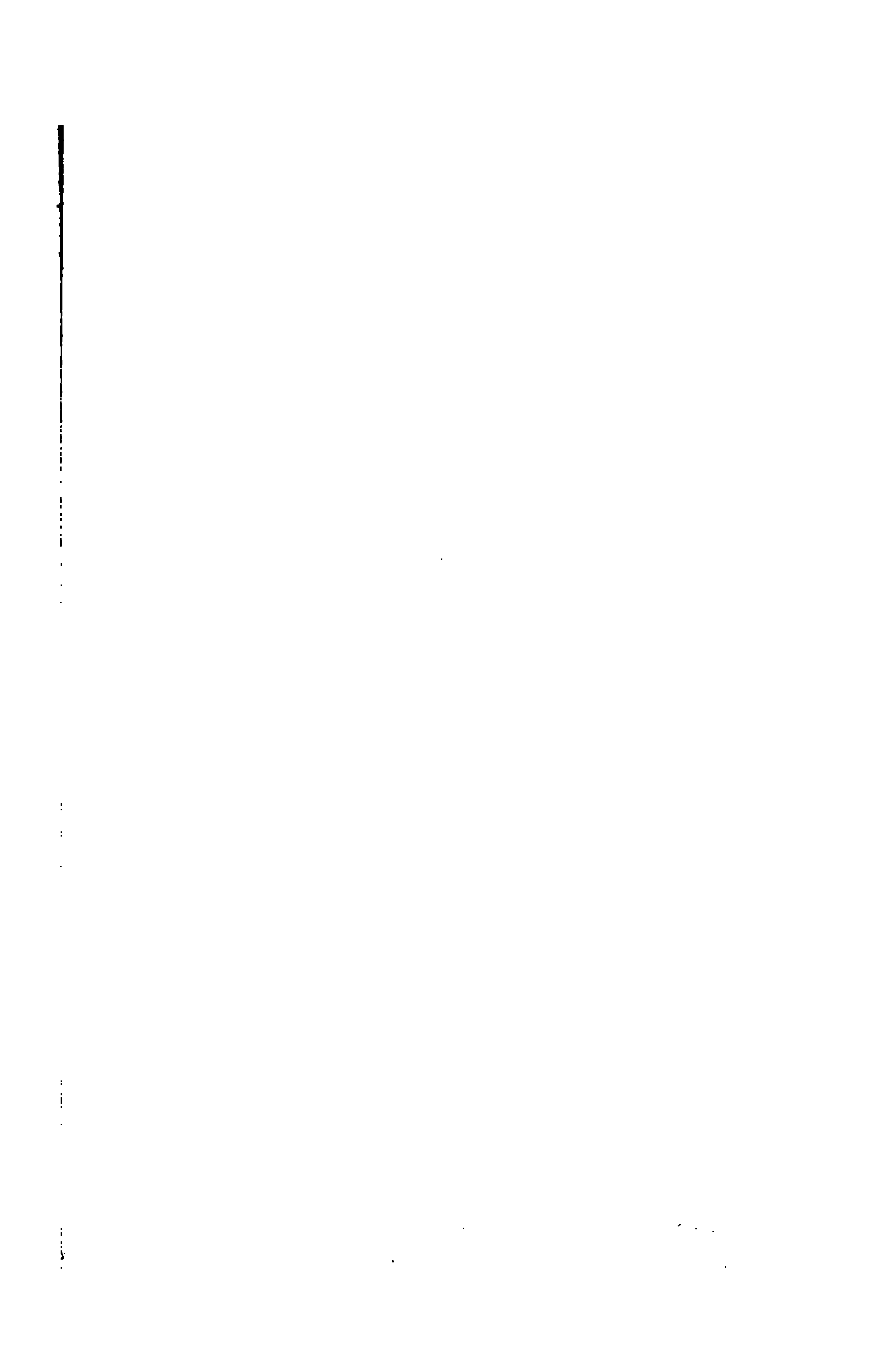
Theorie und Praxis der Trinkwasserbeurteilung

von

Dr. Gustav Kabrhel

R. Oldenbourg, München & Leipzig


Ex-libris
Charles
Atwood
Kofoid



Theorie und Praxis

der

Trinkwasser-Beurteilung.

Von

Dr. Gustav Kabrhel,

o. ö. Professor der Hygiene,

Vorstand des hygienischen Institutes der böhmischen Universität und der staatlichen Untersuchungsanstalt für Lebensmittel in Prag.



München und **Leipzig.**

Druck und Verlag von R. Oldenbourg.

1900.



Vorwort.

Dank den von Pasteur inaugurierten und von Koch glänzend vollendeten Forschungen, auf Grund deren das Wesen der Infektionskrankheiten entdeckt und das Studium der Eigenschaften der betreffenden Infektionserreger, sowie des Verhaltens derselben in der Natur ermöglicht wurde, gelang es, auch die Beurteilung der Trinkwässer auf eine exakte und sichere Basis zu stellen. Durch Beschaffung einer festen Grundlage in dieser Frage — wodurch auch die bis zu jener Zeit vorwiegend übliche Weise der Wasserbeurteilung, welche die sogenannten Grenzwerte, gegen die sich freilich schon früher viele Stimmen erhoben haben, zur Basis hatte — gänzlich geschlagen wurde, ist auch in diesem Zweige der Hygiene Anstofs zu einer grofsen Umwälzung gegeben worden.

Der Schwerpunkt dieser Umwälzung ist hauptsächlich darin zu erblicken, dafs in der Frage der Trinkwasserbeurteilung jeglicher Schablone der Boden entzogen wurde und dafs ihre Stelle von wissenschaftlicher Arbeit eingenommen wurde, deren Aufgaben teils in der Auffindung und Wahl eines geeigneten, enge an die zu be-

handelnden Verhältnisse sich anschmiegenden Untersuchungsmodus, teils in der durchdachten Aneinanderreihung und Verarbeitung der bei der durchgeführten Untersuchung gemachten Befunde und in der Bildung eines richtigen Urteiles beruhen.

Bei einer derartigen Anschauung über die Frage der Trinkwasserbeurteilung erscheint es als natürliche Konsequenz, daſs die in der Praxis vorkommenden Fälle sich nicht nur als sehr mannigfach und infolge ihres inneren Wesens von einander abweichend, sondern eventuell auch ungewöhnlich kompliziert darstellen. Infolgedessen kann auch der Untersuchungsmodus, sowie die Bildung des richtigen Urteiles je nach den Umständen eine sehr schwierige Aufgabe bilden, deren Lösung klare Umsicht und Urteilsbildung als unumgängliche Bedingung voraussetzen.

Es war mein Bestreben, in diesem Buche, das ich hiermit der Öffentlichkeit vorzulegen mir gestatte, sämtliche mit der Trinkwasserbeurteilung zusammenhängende Fragen von einem möglichst allgemeinen Standpunkte zu behandeln und sie gleichzeitig zu einem möglichst einheitlichen, durch innere Zugehörigkeit ausgezeichneten Ganzen zu verbinden.

Ich hege die Ansicht, daſs durch Skizzierung eines solchen allgemeinen Bildes der Frage der Trinkwasserbeurteilung nicht nur das richtige Verständnis der bei derselben gültigen Prinzipe gefördert, sondern auch für viele, die mit Wasserbeurteilungen zu thun haben, die Behandlung und Lösung der einzelnen speziellen Fälle erleichtert wird.

Inwieferne ich die gestellte Aufgabe gelöst habe, dies zu beurteilen, überlasse ich dem geneigten Leser.

Dem Herrn Verleger, welcher meinen Wünschen in Bezug auf die Ausstattung des Buches in bereitwilligster Weise nachgekommen ist, spreche ich meinen verbindlichsten Dank aus.

Prag, Ende April 1900.

Der Verfasser.



Inhalts-Verzeichnis.



I. Kapitel.

Die Wasservorräte der Natur.

Die natürlichen Wasservorräte, die in unseren Gegenden bei Wasserversorgungen in Betracht kommen können, sind dreierlei Art:

a) Oberflächenwässer (Fluſs-, See-, Teich- etc. Wässer),

b) Grund- und Quellwässer.

Oberflächenwässer.

Hinsichtlich der Oberflächenwässer ist hervorzuheben, daſs in die Fluſs-, See- und Teichwässer regelmäſsig durch tierische und menschliche Sekrete und Exkremente verunreinigte Zuflüsse Zutritt haben. Sie gelangen dahin hauptsächlich aus Stadtkanälen, ländlichen Düngerhaufen (durch Ausspülung bei Regen) etc.

In den betreffenden Substanzen, d. h. in den menschlichen und tierischen Sekreten und Exkrementen, können jedoch, wenn sie von Kranken stammen, pathogene Mikroben enthalten sein, die sich im Wasser einige Zeit am Leben erhalten, und auch ihre Fähigkeit, eine neue Infektion hervorzurufen, beibehalten.

Wird nun ein solches Wasser zum Trinken oder zu anderen Hauszwecken verwendet, so dringen die betreffenden infektiösen Mikroorganismen in den menschlichen Organismus ein und können die betreffende Krankheit hervorrufen.

Als ein sehr lehrreiches Beispiel möchte ich in dieser Beziehung den Ausbruch der Cholera-Epidemie im Sommer 1892 in Hamburg[1]) und das Verhalten derselben in Altona, das mit Hamburg enge zusammenhängt, anführen.

Der erste Cholerafall in Hamburg zeigte sich am 17. August. Am 19. August traten bereits Cholerafälle an verschiedenen Punkten der Stadt auf. Am 27. konnten schon 83 Fälle konstatiert werden.

Hierauf wuchs die tägliche Zahl der Fälle so schnell an, dafs am 26. August 905, am 27. August 1002, am 28. August 1028 Fälle verzeichnet wurden, womit auch der Kulminationspunkt erreicht war.

Im ganzen kamen bei dieser Cholera-Epidemie 17 000 Erkrankungen vor, von denen 8 600 letal verliefen.

Durch detaillierte Forschung ist festgestellt worden, dafs die Epidemie im grofsen und ganzen in allen Stadtteilen von Hamburg zugleich aufzutreten begann. Des weiteren zeigte sich, dafs die epidemische Ausbreitung der Cholera präcis auf die Grenze der Hamburger Wasserleitung beschränkt blieb, wiewohl Altona sonst mit Hamburg enge verbunden ist. Während in Ham-

[1]) Gruber: Über die Verbreitung von Infektionskrankheiten durch Wasser, Monatsschrift für öffentl. Gesundheitspflege 1896, S. 1. Praufsnitz: Handbuch der Hygiene S. 192.

burg 14 pro Mille Todesfälle vorkamen, erreichte die Zahl der Todesfälle in Altona und Wandsbeck kaum 2 pro Mille, und dabei wurde noch für 60% der Fälle in Altona und für 90% der Fälle in Wandsbeck der Nachweis erbracht, daſs die Erkrankten in Hamburg gearbeitet und sich dort infiziert hatten.

In Gassen, in welchen die eine Häuserfront mit Altonaer Wasser, die andere dagegen mit Hamburger Wasser versorgt wurde, zeigte sich die Hamburger Seite von der Cholera ergriffen, während die Altonaer von derselben frei war. Ja, es ist beobachtet worden, daſs, wenn eine Hamburger Häusergruppe ausnahmsweise Altonaer Wasser erhielt, dieselbe auch von der Cholera verschont blieb. So geschah dies in dem sog Hamburger Hof mit 341 Parteien, die noch dazu arm waren und unreine, enge Wohnungen innehatten, aber das Wasser nicht aus der Hamburger, sondern aus der Altonaer Wasserleitung erhielten.

Das Wasser der Hamburger Wasserleitung wurde direkt der Elbe und zwar vor Hamburg entnommen, doch war dort das Elbewasser in der Flutzeit mit dem Inhalte der Hamburger Kanäle vermengt.

Über die Qualität dieses Wassers hat sich Hueppe dahin ausgesprochen, daſs es sich gekocht höchstens noch zum Waschen der Fuſsböden eignen würde.

Die Altonaer Wasserleitung bezog ihr Wasser zwar auch aus der Elbe und an einem noch ungünstigeren Orte, nämlich unter der Eintrittsstelle der Hamburger Kanäle, doch wurde dasselbe durch Sandfiltration sehr sorgfältig gereinigt. Infolgedessen blieb Altona von der

Cholera verschont, während Hamburg in ungeheuerem Maſse unter ihr gelitten hat.

Welchen Einfluſs die Benützung von durch Abfallstoffe verunreinigten Oberflächenwässern auf die Verbreitung des Typhus hat, beweist schlagend der nachfolgende Fall.[1])

Es handelt sich um die amerikanischen Städte Jersey-City und Newark (Neu-Jersey). Beide Städte erfreuen sich derselben geographischen und klimatischen Verhältnisse und sind voneinander nur durch einen engen Landstreifen getrennt, der Jersey-Wiesen heiſst.

Bis zum 15. April 1893 entnahmen beide Städte ihr Wasser dem von Abwässern stark verunreinigten Flusse Passaic. Bis dahin zeigte die jährliche Zahl der Todesfälle an Typhus das nachfolgende Verhalten:

	1890	1891	1892	
Jersey-City . . .	9.1	9.5	5.3	unter
Newark	6.6	8.1	4.5	10000 Einw.

Im Jahre 1893 verschaffte sich Newark ein anderes und zwar reines, durch Abfallstoffe nicht verunreinigtes Wasser. Die Mortalität an Typhus sank um 80%, wie die folgenden Zahlen beweisen:

	1893	1894	
Jersey-City	6.0	7.6	unter
Newark	2.8	1.5	10000 Einw.

Den Einfluſs verunreinigter, zu Wasserleitungen benützter Fluſswässer illustriert sehr hübsch auch das Ver-

[1]) Thudichum: Briefe über öffentl. Gesundheitspflege S. 37.

halten des Typhus in London, wo nach Einführung der Filtration und nach Versetzung der Schöpfstationen in die höheren Abschnitte des Themsethales die Mortalität an Typhus um 86%[1]) sank.

Mit Hinblick auf diese angeführten und zahlreiche andere Erfahrungen ist begreiflich, dafs als vollkommen bewiesener und anerkannter Grundsatz angenommen wurde, dafs die Verunreinigungen durch Abfallstoffe und -Flüssigkeiten ausgesetzten Oberflächenwässer (Flufs-, Bach-, Teichwässer) zum Zwecke der Wasserversorgung ohne weiteres nicht zugelassen werden können.

Gleichfalls mufs mit Bezug auf das Angeführte als selbstverständlich erscheinen, dafs, wenn die Oberflächenwässer zur Wasserversorgung verwendet werden sollten, dies nur unter der Bedingung geschehen könnte, dafs den aus der Verunreinigung durch Abfallstoffe oder -Flüssigkeiten hervorgehenden Mängeln auf irgend welche Weise abgeholfen würde.

Diese Abhilfe kann auf zweierlei Wegen geschaffen werden:

1. durch Verhindern des Zutrittes jeglicher Verunreinigung;
2. durch Entfernung der in der Verunreinigung begründeten Mängel mit Hilfe irgend eines geeigneten Reinigungsverfahrens.

Was den sub 1. angedeuteten Weg anlangt, so ist zu sagen, dafs thatsächlich ein Verfahren existiert, das bei genauer Durchführung vollkommen einwandfrei ist

[1]) Thudichum: Briefe über öffentl. Gesundheitspflege S. 39.

und das besonders in Nordengland in zahlreichen Fällen mit Erfolg angewendet wurde.

Dasselbe beruht auf der Stauung von Bach- und Meteorwässern durch Thalsperren. Dies sind Dämme, die enge Thäler an Orten durchqueren, an denen das Wasser der Bäche und Niederschläge des vor dem Damme befindlichen Wassergebietes zur Entstehung grofser Wasserbassins führt, deren jährliche Ergiebigkeit zur Deckung des Wasserbedarfes der betreffenden Städte genügt.

Es ist klar, dafs diese Einrichtung gewisse günstige lokale Bodenbedingungen voraussetzt, wie diese thatsächlich in dem die Grafschaften Lancashire und Yorkshire durchtretenden Gebirgszuge vorkommen, dessen enge, tiefe Thäler ohne besondere Schwierigkeiten durch Verdämmung in künstliche Seen verwandelt werden konnten.

Das auf die Berglehnen einfallende Meteorwasser sammelt sich, teils den Abhang hinabfliefsend, teils in den Boden versickernd und in Form gröfserer oder kleinerer Quellen aus demselben zu Tage tretend, vor dem Damme im Thale an und wird von hier durch Leitungen seinem Zwecke zugeführt.

Da die Niederschläge jedoch auf die Jahreszeiten ungleich verteilt sind, so mufs der Damm so hoch gebaut werden, damit sich das Wasser während der Niederschlägezeit in einer solchen Menge anhäufen kann, um auch für eine längere regenlose Zeit zu genügen.

Infolgedessen erreichen solche Dämme die Höhe von selbst 20 bis 30 m, während ihre Unterbauten gleich-

falls 20 bis 36 m unter die Oberfläche reichen. Die angestaute Wassermenge beträgt manchmal einige Millionen m^3.[1]) ($1 m^3 = 10$ hl).

Die Tiefe solcher Bassins bietet jedoch gleichzeitig den unschätzbaren Vorteil, dafs das aus gröfseren Tiefen, etwa 12—16 m, geschöpfte Wasser das ganze Jahr hindurch einen gleichmäfsigen und angemessenen Grad von Kälte aufweist.

Soll das Wasser solcher Seen den hygienischen Anforderungen entsprechen, so mufs die Möglichkeit jeder Verunreinigung ausgeschlossen werden, d. h. die Thalfläche, welcher die das Bassin versorgenden Quellen entspringen, mufs unbewohnt sein und brach liegen. Es wird blofs dafür gesorgt, dafs sie allenthalben von Pflanzenvegetation bedeckt ist. In einzelnen Fällen ist dies freilich nur durch Expropriation zu erzielen.

Im Falle, dafs es unmöglich wäre, die erwähnten Forderungen einzuhalten, müfste das Wasser eines solchen Sees vor Einlafs in das Wasserleitungsnetz durch Filtration gereinigt werden.

Was den sub 2. angeführten Weg betrifft, nämlich die durch Verunreinigung entstehenden Mängel durch eine geeignete Reinigungsmafsregel zu beseitigen, so ist hervorzuheben, dafs sich bis jetzt bei centralen Wasser-

---

[1]) Der Bruch eines solchen unrichtig angelegten und ausgeführten Dammes ist mit grofser Gefahr verbunden. So kamen 1864 in Sheffield infolge einer solchen Katastrophe 238 Menschen ums Leben. Der Damm ist, wie sich nachher herausgestellt hat, technisch unzulänglich ausgeführt worden.

versorgungen nur die sog. Sandfiltration bewährt hat, die besonders bei dem durch den Verfasser dieses Buches angeregten Systeme, d. h. als doppelte Sandfiltration oder in Kombination mit der natürlichen Filtration, einen Filtrationseffekt von nahezu absoluter Vollkommenheit zu erzielen im stande ist.[1])

Grund- und Quellwässer.

Die Grund- und Quellwässer finden ihren Ursprung wiederum in Wasserniederschlägen (Regen und Schnee).

Die Wasserniederschläge dringen nämlich, wenn sie auf ein Terrain von poröser Struktur gelangen (z. B. auf aufgeschwemmte Alluvial- oder Diluvialformationen, Sandsteine der Kreideformation etc.) leicht ein und sickern teilweise in den Boden. Ein grofser Teil derselben fliefst entweder direkt in die nächsten Bäche, Flüsse und Seen, oder er verdunstet alsbald und kehrt als Wasserdampf in die Luftatmosphäre zurück.

Der in die porösen Schichten eindringende und einsickernde Rest der Wasserniederschläge gelangt tiefer und tiefer, bis sich ihm irgend eine für das Wasser undurchdringliche Schichte entgegenstellt; solche Schichten pflegen aus Thon oder irgend welchem Massengestein zu bestehen.

Infolge dieses Hindernisses, das dem senkrechten Fortschreiten der Wasserniederschläge in die Tiefe ein

---

[1]) Dr. Gustav Kabrhel: Vervollkommnung des Filtrationseffektes bei centraler Filtration. Hygien. Rundschau 1897.

Ende macht, füllen sich die Bodenporen bis zu einer bestimmten Höhe über der undurchlässigen Schichte vollauf mit Wasser, das je nach der Neigung der wasserdichten Schichte auf dieser entweder bewegliche Ströme oder stehende unterirdische Seen bildet.

Dieses, die Poren zwischen den Bodenkörnern oberhalb der ersten undurchdringlichen Schichte bis zu einer bestimmten Höhe gänzlich ausfüllende Wasser heiſst Grundwasser.

Mit Hinblick auf das Angeführte muſs als selbstverständlich erscheinen, daſs, wenn wir beim Graben in die Tiefe in die mit Grundwasser gefüllten Schichten eindringen, sich das Wasser von den Seiten in die ausgegrabene Grube drängen wird und zwar von diesen Seiten mehr, von jenen weniger, was von der Durchlässigkeit (der Porengröſse) der Formation abhängt.

Infolge des Wasserzuflusses von allen Seiten erreicht der Wasserspiegel in einer solchen Grube endlich eine bestimmte Höhe. Die Entfernung dieses Wasserspiegels von der Oberfläche gibt den Stand der Grundwässer an jenem Orte an.

Aus dem Angeführten geht gleichzeitig hervor, daſs ein groſser Teil unserer Brunnen von dem auf der ersten undurchlässigen Schichte befindlichen Wasser, d. h. vom Grundwasser, gespeist wird.

Wenn wir jedoch den Zufluſs des Grundwassers in irgend welcher Weise verhindern und den Schacht auch durch die undurchdringliche Schichte weiter treiben würden, so könnten wir wiederum auf eine poröse (unter der ersten undurchlässigen Schichte liegende) Formation stoſsen.

So in die Tiefe fortschreitend, könnten wir wieder eine Schichte poröser Formation vorfinden, deren Poren vollständig mit Wasser ausgefüllt wären, und unter welcher wiederum eine wasserdichte Schichte liegen könnte. An diesem Orte würde sich das Wasser wieder von allen Seiten in den ausgegrabenen Schacht hereindrängen.

Und nicht genug daran, es könnte sogar vorkommen, daſs nach Öffnung der ersten undurchdringlichen Schichte das zwischen ihr und der nachfolgenden wasserdichten Schichte unter einem Druck befindliche Wasser bis über die Oberfläche herausspritzen würde! Es ist dies eine ähnliche Erscheinung, als wenn wir in eine **U** förmige, mit Wasser völlig gefüllte Glasröhre an der Stelle der bogenförmigen Krümmung eine kleine Öffnung machen würden. Auch hier würde das Wasser aus derselben herausspritzen. Würden wir sodann an die Öffnung eine Glasröhre ansetzen, so würde das Wasser in derselben zu derselben Höhe ansteigen wie in den beiden Schenkeln.

Dort, wo es sich um zwischen zwei undurchdringlichen Schichten unter einem Drucke gesperrte Wässer handelt, so daſs nach Öffnung der ersten wasserdichten Schichte das Wasser auf die Oberfläche schieſst, spricht man von sog. artesischen Brunnen.

Der Ursprung der artesischen Brunnen ist derartig zu erklären, daſs jene poröse Schichte, in welcher das Wasser zwischen zwei undurchdringlichen Schichten unter einem Drucke eingeschlossen ist, sich an irgend einer Stelle der Erdoberfläche nähert (indem sie die Oberflächenlinie quert). Infolgedessen wird jene für das Wasser undurchdringliche Schichte, die am Orte des

artesischen Brunnens die zweite undurchlässige Schichte bildet, an den Stellen, an welchen sie sich der Oberfläche nähert, zur ersten undurchdringlichen Schichte, auf welcher dann das Wasser der Niederschläge nach Durchsickern von der Oberfläche zu dem Orte, an dem sich der artesische Brunnen befindet, herabfliefst.

Aus dem Angeführten geht gleichzeitig hervor, dafs sich das Wassergebiet des artesischen Brunnens, d. h. jener Teil der Oberfläche, auf welchen die denselben versorgenden Wasserniederschläge niederfallen und in den Boden dringen, nicht im Bereiche des artesischen Brunnens, sondern oft einige Meilen davon entfernt befindet.

Wie ist der Ursprung des Quellwassers zu erklären? Stellen wir uns vor, dafs sich die über der ersten undurchlässigen befindliche poröse Schichte, auf welcher das Grundwasser in einer bestimmten Richtung herabfliefst, allmählich verjüngt, so dafs schliefslich die undurchdringliche Schichte an einem bestimmten Orte nahe an die Bodenoberfläche gelangt. In einem solchen Falle kann es dazu kommen, dafs das auf der geneigten undurchdringlichen Basis fliefsende Grundwasser an der Stelle, wo eine solche Verdünnung der porösen Schichte eintritt, in den Poren der übrigbleibenden dünnen Schichte nicht genug Platz findet, so dafs ein Teil dieses Grundwassers an der Oberfläche zu fliefsen gezwungen ist. Dieser auf der Oberfläche fliefsende Überschufs des Grundwassers heifst dann Quelle.

Es kann ferner auch vorkommen, dafs im weiteren Verlaufe der Quelle an der Oberfläche die poröse

Schichte wieder stärker wird, und dafs das Quellwasser wieder in ihr verschwindet und wieder zum Grundwasser wird (solche Fälle sind thatsächlich beobachtet worden).

Aus der über den Ursprung der Quellwässer gegebenen Erklärung geht gleichzeitig hervor, dafs zwischen den Grund- und Quellwässern kein prinzipieller Unterschied besteht.



II. Kapitel.

Die Veränderungen der Meteorwässer im Boden.

Nachdem wir uns die Entstehung der Quell- und Grundwässer erklärt haben, können wir der Frage näher treten, welche Veränderungen solche Wässer infolge ihrer Berührung mit dem Boden erleiden können.

In dieser Beziehung ist vor allem klar, daſs die in den Boden einsickernden und dann weiterhin in die Tiefe oder auf einer geneigten Fläche der undurchlässigen Schichte sich bewegenden Niederschlägewässer teils mit verschiedensten Stoffen animalischen und pflanzlichen Ursprungs, teils mit den der betreffenden Formation, durch welche sich das Wasser bewegt, eigenen verschiedensten chemischen Verbindungen in Berührung kommen.

Es ist gewiſs nicht notwendig, des näheren auszuführen, daſs als Resultat eines solchen Kontaktes mit dem Boden sich die Beschaffenheit und die Zusammensetzung der Niederschlägewässer bei deren Durchtritte durch den Boden je nach dem Charakter des letzteren und den

in demselben enthaltenen Stoffen in intensiver Weise ändern muſs.

In dieser Beziehung muſs vor allem auf die Veränderungen hingewiesen werden, welche dadurch charakterisiert erscheinen, daſs die Niederschlägewässer bei ihrem Durchtritte durch den Boden neue Bestandteile aufnehmen.

Unter solchen neu aufgenommenen Bestandteilen können freilich auch viele enthalten sein, welche hinsichtlich ihrer Einwirkung auf den menschlichen Organismus im groſsen und ganzen als gesundheitsunschädlich bezeichnet werden können.

Hierher gehört der gröſste Teil jener chemischen Verbindungen, welche als gewöhnlicher Bestandteil der oberen Bodenschichten infolge der hier gegebenen Bedingungen, die später besprochen werden, durch die durchsickernden Meteorwässer aufgelöst und ausgelaugt werden (als z. B. Chloride, salpetersauere Salze, Kalksalze etc.).

Es muſs jedoch des besonderen hervorgehoben werden, daſs es sich bei dem Kontakte mit dem Boden auch um die Aufnahme von der menschlichen Gesundheit gefährlichen Bestandteilen handeln kann.

Der Grund davon ist, daſs auf die Oberfläche und in die oberen Bodenschichten oft verschiedenste, teils industrielle, teils menschliche oder tierische Abfallstoffe (wie Exkremente, Sputa, Eiter etc.) Zutritt haben, welche infektiöse Organismen enthalten können.

Was die Beimengung von giftigen, industriellen Abfallstoffen entstammenden Verbindungen betrifft, so

mufs freilich hervorgehoben werden, dafs derartige Fälle, obwohl selten, jedoch trotzdem hie und da vorkommen.

Als lehrreiches Beispiel kann in dieser Richtung ein von Adam[1]) (im chem. Laboratorium des k. u. k. Militär-Sanitäts-Comités in Wien) untersuchter Fall von Verunreinigung durch Gasanstalts-Abfallstoffe angeführt werden. Es handelte sich um das Brunnenwasser einer nahe der Gasanstalt gelegenen Ziegelei. In demselben wurden durch chemische Analyse teils Rhodanammonium, teils Kressole nachgewiesen.

Was die Beimengung von infektiöse Keime enthaltenden Bestandteilen anlangt, ist anzuführen, dafs die wichtigste Quelle einer solchen Verunreinigung des Grundwassers Latrinen, Kanäle, Düngerhaufen und ähnliche Sammelstätten von Abfallstoffen bilden. Je nach der Bauart dieser Sammelstätten sickert ihr Inhalt in gröfsere oder kleinere Tiefen ein. Dabei mufs man gleichzeitig im Auge behalten, dafs selbst technisch richtig aus ausgezeichneten, mit Zement verbundenen Ziegeln (sog. Klinkersteinen) gebaute Latrinen oder Kanäle nicht im stande sind, das Durchsickern des Inhaltes völlig zu verhindern. Denn auch der Zement wird durch die Einwirkung der sich zersetzenden Exkremente, besonders des Harnes, etwas angegriffen, so dafs Risse in demselben entstehen, durch die der flüssige Inhalt in den Boden eindringt.

---

[1]) Adam, Österr. Chem.-Ztg. Nr. 3, 1898.

Sind jedoch die Latrinen und Kanäle schlecht gebaut[1]) und der Boden unterhalb derselben grob porös und daher stark durchlässig, so kann der Inhalt solcher unreinen Sammelstätten in bedeutende Tiefen in den Boden und je nach den Umständen also auch in die Grundwässer des betreffenden Terrains eindringen.

So wie bei der Bildung und Entstehung der Grundwässer auf der einen Seite, wie wir soeben gesehen haben, durch Aufnahme gewisser Stoffe die Möglichkeit der Verschlechterung in hygienischem Sinne gegeben ist, mufs auf der anderen Seite gleichzeitig hervorgehoben werden, dafs sich bei dem Durchtritte der Niederschlägewässer und -Flüssigkeiten durch den Boden durch die Einwirkung desselben eine Korrektion einstellt, durch welche der durch Verunreinigung mit verdächtigen oder gar gefährlichen, pathogene Keime enthaltenden Abfallstoffen bedingte anstöfsige Charakter je nach den Umständen mehr oder weniger, eventuell selbst gänzlich verwischt und entfernt werden kann, so dafs die betreffenden

---

[1]) Wie intensiv das Einsickern aus schlecht gebauten Latrinen bei durchlässigem Bodengrunde sein kann, illustriert das nachfolgende Beispiel: Als 1854 in München Cholera ausgebrochen war, ordnete der Magistrat an, undurchdringliche Latrinen zu bauen. Bis zu jener Zeit sind nämlich nur sog. Versitzgruben gebaut worden, deren flüssiger Inhalt in den Boden drang, während die festen Bestandteile zurückblieben. Wie durchlässig diese Latrinen waren, zeigt am besten das Bekenntnis eines Münchener Hausherrn, der, gegen die Anordnung des Magistrats Beschwerde führend, als Beweis der Zwecklosigkeit derselben angeführt hatte, dafs die nach früherem Muster gebauten Gruben viel besser waren, da man sie selbst 20 Jahre nicht zu räumen brauchte. (Nach Pettenkofer.)

Grund- oder Quellwässer doch als gute Trinkwässer dienen können.

Die durch den Boden durchtretenden Niederschläge-flüssigkeiten oder auch Flüssigkeiten anderen Ursprungs machen nämlich bei ihrer Bewegung durch den Boden, und zwar sowohl in vertikaler, als auch in horizontaler (so wird die Bewegung des Grundwassers auf geneigtem, undurchdringlichem Grunde bezeichnet) Richtung, eine natürliche und sehr gründliche Reinigung durch, und zwar eben mit Bezug auf jene Stoffe, deren Gegenwart in den Trinkwässern unzulässig ist. Es ist gewifs nicht notwendig, nachzuweisen, dafs, wenn der Boden nicht zugleich in reinigendem Sinne einwirken würde, das Wasser unserer Brunnen und Quellen überhaupt nicht gebrauchsfähig wäre.

Was das Wesen der Wasserreinigung im Boden anlangt, so ist hervorzuheben, dafs sich dieselbe auf a) die sog. suspendierten (in Form von feinen Körperchen in den durchsickernden Flüssigkeiten enthaltenen), b) die gelösten Stoffe bezieht.

In Bezug auf die Frage, in welchem Mafse der Boden suspendierte Stoffe aus den in die Tiefe sickernden Flüssigkeiten zurückzuhalten fähig ist, mufs vor allem auf die allbekannte Erfahrung hingewiesen werden, dafs die in unsere Brunnen fliefsenden Grundwässer regelmäfsig ganz klar, d. h. von suspendierten, mit unbewaffnetem Auge sichtbaren Bestandteilen frei sind.

Diese Klarheit beweist schon, dafs die in die Tiefe einsickernden Flüssigkeiten, die am Anfang des Durchsickerns regelmäfsig sehr trüb zu sein pflegen, am Wege

durch den Boden jene korpusculären (die Trübung bedingenden) Elemente verlieren.

Diese Fähigkeit des Bodens, korpusculäre Elemente zurückzuhalten, heifst Filtrierfähigkeit des Bodens.

Bei dem Durchtritte von Flüssigkeiten durch porösen Boden bleiben nämlich die korpusculären Elemente aus gewissen Gründen an einzelnen Stellen stecken, ohne von dem Flüssigkeitsstrome weitergetragen zu werden. Die Gründe dieses Zurückhaltens sind in den nachfolgenden Umständen zu suchen:

Die Körperchen werden vor allem dadurch zurückgehalten, dafs sie in Poren eindringen, die im Verhältnisse zu den Dimensionen der ersteren etwas enger sind, so dafs die Körperchen in ihnen stecken bleiben.

Des weiteren mufs man bedenken, dafs der für den Durchtritt der Flüssigkeit durch die Poren offene Weg nicht geradlinig, sondern mehr oder minder gebrochen, verzweigt ist. Es ist dies ein Netz von ungleich breiten, unregelmäfsigen Gängen, die sich stellenweise verengen und verbreitern und mit verschiedenen Seitenhöhlungen und Fortsätzen versehen sind.

Es ist gewifs leicht begreiflich, dafs sich in einem solchen Netz von Gängen, besonders dort, wo sich Fortsätze und Höhlungen befinden oder wo sich ein Gang teilt, die in den durchsickernden Flüssigkeiten enthaltenen Körperchen verfangen und zwar auch dann, wenn die Dimensionen des Körperchens kleiner sind als die Dimensionen des Porenganges, in welchem das betreffende Körperchen stecken blieb. Es ist desgleichen nicht notwendig, nachzuweisen, dafs auch die

Adhäsion, die je nach dem Charakter der Körperchen mit Hinblick auf die Bodenkörner gröſser oder kleiner sein kann, einen groſsen Einfluſs auf das Zurückhalten derselben im Boden ausübt.

Alle diese angeführten Einflüsse kommen umsomehr zur Geltung, je kleiner die Geschwindigkeit der durchtretenden Flüssigkeiten, d. h. gleichzeitig auch die Kraft, welche den Flüssigkeitsstrom bewegt, kleiner ist.

Man kann sagen, daſs unter den natürlichen Verhältnissen die Geschwindigkeit der Flüssigkeitsbewegung im Boden thatsächlich sehr klein ist. Dies gilt besonders von der Geschwindigkeit der in vertikaler Richtung in die Tiefe vordringenden Meteorwässer.

Darüber belehren uns die Untersuchungen von Hoffmann[1]), durch welche der Vorgang des Vordringens der Regenniederschläge durch die Bodenschichten in die Tiefe gebührend klargelegt worden ist.

Mit Bezug auf diese Frage sei das Nachfolgende mitgeteilt:

Hoffmann unterscheidet im Boden drei Zonen, indem er Bedacht nimmt teils auf den Wasserinhalt der Bodenschichten, teils auf die Korrelation derselben zu den durch den veränderlichen Stand der Grundwässer und das Schwanken der Wasserniederschläge bedingten Veränderungen.

1. Die Ausdünstungszone. So bezeichnet Hoffmann jene oberflächlichste Bodenschichte, in welcher die häufigsten und intensivsten Feuchtigkeitsänderungen

---

[1]) Arch. für Hygiene, Bd. I.

verlaufen. Bei gröſseren Niederschlägen kann in dieser Zone die gröſstmöglichste Intensität der Durchnässung, in von Niederschlägen freien Perioden ein hoher Grad von Trockenheit des Bodens entstehen.

Es ist hervorzuheben, daſs für die Feuchtigkeit dieser Zone sowohl die Wasserniederschläge als auch die Wässer der unteren Schichten maſsgebend sind; die letzteren insofern, als zu gewissen Zeiten (bei herrschender Trockenheit) das verdunstete Wasser durch Einwirkung des aus den unteren Schichten hinaufgerichteten Kapillarstromes teilweise wieder ersetzt werden kann, was augenscheinlich teils von dem Grade der Austrocknung, teils von dem Stande des Grundwassers abhängt.

2. Die Durchgangszone. So bezeichnet Hoffmann jene unterhalb der Ausdünstungszone gelegene Mittelschichte des Bodens, in welcher sich der Wassergehalt, da eine Verdünstung (wenigstens direkt) nicht zur Geltung kommt, bei einem konstanten Werte hält.

In dieser Zone ist soviel Wasser enthalten, als durch den Einfluſs der Kapillarität der Poren bei freiem Abflusse nach unten zurückgehalten werden kann. Mit Rücksicht darauf entspricht der Wassergehalt dieser Schichte der sog. absoluten Wasserkapazität.

Infolgedessen muſs, wenn in diese Zone von oben ein neues Quantum Wasser (z. B. nach Regengüssen, wenn die Ausdünstungszone auf das Zurückhalten des mit den Niederschlägen niedergefallenen Wassers nicht hinreicht) eindringt, aus dieser Zone unten soviel Wasser abflieſsen, als oben eingetreten ist

Desgleichen ist klar, dafs die oberen und unteren Grenzen dieser Zone bedeutenden Veränderungen unterliegen werden. Zur Zeit einer gröfseren Bodendurchnässung (bei gleichzeitig ansteigendem Grundwasserstande) wird sich die obere Grenze der Bodenoberfläche nähern, zur Zeit der Trockenheit von derselben entfernen.

3. Die Zone des kapillaren Standes des Grundwassers. Man kann beobachten, dafs sich das Grundwasser, dessen obere Grenze, wie oben dargelegt wurde, der Wasserspiegel der auf dem betreffenden Terrain hergerichteten Brunnen oder Schächte vorstellt, durch Einwirkung der Kapillarität in eine bestimmte Höhe hebt, so dafs die Bodenporen noch oberhalb dieses Wasserspiegels gänzlich mit Wasser gefüllt sind.

Die direkt oberhalb des Niveaus der Grundwässer gelegenen Bodenteile, in welche das Grundwasser durch Einwirkung der Kapillarität gehoben wird, wobei natürlich die im entgegengesetzten Sinne wirkende Einwirkung der Anziehungskraft der Erde zu überwinden ist, heifsen die Zone des kapillaren Standes des Grundwassers.

Die Höhe der kapillaren Erhebung wird sich freilich hauptsächlich nach der Feinheit der Poren richten.

In einem grob porösen Boden geht das Ansteigen rasch vor sich, doch ist die erreichte Höhe klein. Jn fein poröser Formation ist das Ansteigen langsam, dagegen die erreichte Höhe bedeutend.

Bei einer derartigen, durch Kapillarität bedingten Bewegung des Wassers in die Höhe werden die Poren allmählich mit Wasser gefüllt, so dafs ein allmählicher Übergang zu dem Wassergehalte der Durchgangszone entsteht.

Mit Rücksicht auf das, was von den Eigenschaften der oberhalb des Grundwassers befindlichen Schichten bisher angeführt worden ist, mufs nunmehr klar sein, dafs die auf die Bodenoberfläche niedergefallenen Wasserniederschläge nicht früher in die Durchgangszone werden gelangen können, bevor die Kapillaren der Verdunstungszone nicht vom Wasser erfüllt sein werden.

Wenn es also z. B. längere Zeit nicht geregnet hat, so kann es vorkommen, dafs das gesamte Wasser des ersten Regens nur in der Ausdünstungszone verbleibt, so dafs in die Durchgangszone überhaupt nichts gelangt. Erst wenn soviel Wasser niedergefallen ist, als die Ausdünstungszone auf grund ihrer Kapazität bei nach unten freiem Abflusse zurückzuhalten vermag, tritt die Möglichkeit in Sicht, dafs bei dauernden Niederschlägen der Überschufs derselben in die Durchgangszone wird übertreten können. In dieser Beziehung ist die Erfahrung bekannt, dafs selbst mächtige Regengüsse (nach einer Periode längerer Trockenheit) den Boden nur in die Tiefe von einigen Centimetern durchzunässen vermögen.

Dringt jedoch ein gewisser Überschufs aus der Ausdünstungszone in die Durchgangszone, so verdrängt derselbe das in ihr befindliche Wasser. Infolgedessen fliefst aus der Durchgangszone in das Grundwasser soviel Wasser ab, als in jene von oben aus der Ausdünstungszone gelangt ist.

Aus dem Angeführten geht weiterhin hervor, dafs das Ansteigen des Grundwasserstandes das Resultat einer solchen erhöhten Durchfeuchtung der oberen Boden-

schichten ist, bei welcher die Bodenkapazität der oberen Schichten auf das Zurückhalten der daselbst eingedrungenen Wassermenge nicht ausreicht, so daſs ein gewisser Überschuſs in die Durchgangszone übergehen und das hier befindliche Wasser vor sich in der Richtung zum kapillaren Grundwasserstande hindrängen muſs.

Unter solchen Verhältnissen erhalten wir also im Boden trotz des Aufstieges des Grundwassers eine vertikal nach unten gerichtete Wasserbewegung.

Sind jedoch im Gegenteile die Wasserniederschläge nicht im stande, das aus der Verdunstungszone verdunstete Wasser zu ersetzen, so wird dasselbe (teilweise) von dem durch die Einwirkung der Kapillarität aus den unteren Zonen in die Ausdünstungszone wandernden Wasser ersetzt.

Unter solchen Verhältnissen muſs, wie ja ganz klar ist, das Grundwasserniveau teils sinken, teils die Ausdünstungszone stärker werden.

Mit Hinblick auf das bisher Angeführte muſs jedoch gewiſs weiterhin klar sein, daſs wenn durch die Wasserüberschüsse der Ausdünstungszone das gesamte Wasser der Durchgangszone verdrängt werden sollte, von oben gerade soviel Wasser hereinflieſsen müſste, als hier gehalten wird, d. h. eine Menge, die der absoluten Kapazität der Durchgangszone entsprechen würde.

Würde man also z. B. die jährliche Regenhöhe mit 600 mm annehmen, wobei also auf 1 qm 600 l Wasser niederfallen, und würde weiterhin 1 cbm Boden 200 bis 300 l enthalten, so würde, wenn nichts verdünstete und nichts von der Oberfläche abflieſsen würde,

das Wasser des ersten Regens im Laufe eines Jahres höchstens 2 bis 3 m in die Tiefe dringen.

Wenn man sodann wegen des durch Verdunsten und Abfliefsen von der Oberfläche bedingten Wasserverlustes eine sehr kleine Zahl, also z. B. $^1/_3$ in Rechnung ziehen würde, so würde im gegebenen Falle das Regenwasser im Laufe eines Jahres in die Tiefe von 1.3 bis 2 m eindringen.

Da jedoch weiterhin bei der angeführten Berechnung Bedingungen als Grundlage genommen werden, die nach den Beobachtungen von Hoffmann in der Natur selten günstiger sind, so kann man urteilen, dafs die vertikale Filtrationsgeschwindigkeit im Boden regelmäfsig den Wert von 1.3 bis 2 m pro Jahr nicht erreichen wird.

Man kann sich freilich leicht vorstellen dafs bei einer so unbedeutenden Geschwindigkeit das Zurückhalten von korpusculären Elementen aus den durchsickernden Flüssigkeiten aufserordentlich intensiv sein mufs.

Wie vollkommen das Zurückhalten von korpusculären Elementen im Boden ist, beweisen besonders die Untersuchungen von Fränkel[1]), welche auch die dem unbewaffneten Auge unsichtbaren suspendierten und bei 1000 facher Vergröfserung als unbedeutende Punkte erscheinenden Körperchen, d. h. die Bakterien, betreffen.

Fränkel untersuchte nämlich Boden aus verschiedenen Tiefen auf Bakterien. Dabei fand er, dafs brach

[1]) Fränkel, Zeitschr. für Hygiene, Bd. 2.

liegender und nur von Gras bewachsener Boden in den oberen, der Oberfläche nahen Schichten 100000 bis 400000 Keime in 1 ccm enthielt. Die gröfste Menge wurde nicht an der Oberfläche, sondern etwa in der Tiefe von $^1/_4$ m konstatiert. Ging er jedoch in die Tiefe, so nahm die Keimzahl auffallend ab, so dafs die in der Tiefe von 1 $^1/_2$ m befindlichen Schichten bereits keimfrei erschienen. An diesem Befunde der Sterilität des Bodens in nicht sehr grofsen Tiefen änderte der Umstand nichts, wenn man in denselben auf Grundwasser stiefs, d. h. die aus dem Bereiche des Grundwassers genommenen Bodenproben erschienen gleichfalls keimfrei.

Auch die Untersuchungen des Bodens von verschiedenen Stellen Berlins, also auf einem seit Jahrhunderten bewohnten und seit Jahrhunderten durch Abfallstoffe verunreinigten Terrain, führten in dem Hauptpunkte gleichfalls zu analogen Resultaten.

In den oberen, der Oberfläche nahen Schichten fand Fränkel eine gröfsere Mikrobenzahl. Er fand, dafs dieselbe selbst den Werth von 800000 in 1 ccm erreichen kann.

Das Abnehmen der Keime in die Tiefe bis zu ihrem vollständigen Schwunde wurde auch konstatiert; doch war die Abnahme nicht so jäh wie auf unbewohntem Terrain, und die keimfreien Schichten traten erst in gröfserer Tiefe, d. h. etwa 4 bis 5 m, auf. Ein solcher Zustand des Bodens den Bakterien gegenüber konnte festgestellt werden, selbst wenn man in solchen tieferen Schichten auf Grundwasser stiefs.

Aus dem Angeführten geht hervor, daſs die Filtrationsfähigkeit des Bodens mit Rücksicht auf das Zurückhalten von suspendierten Stoffen über alles Erwarten intensiv ist, da der Boden auch die kleinsten derselben — die Bakterien — auf ihrem Durchtritte in nicht sehr groſsen Tiefen zurückzuhalten vermag. Freilich nur dann, wenn das Durchsickern der Niederschlägeflüssigkeiten langsam vor sich geht und die Filtrationsgeschwindigkeit daher sehr unbedeutend ist.

Es kann freilich mit Bezug auf die Bakterien und das Vordringen derselben in tiefere Schichten nicht verschwiegen werden, daſs auſser der mechanischen Einwirkung des Bodens als eines Filters noch ein Moment in die Wagschale fällt. Die Bakterien sind nämlich lebende Organismen, die zu ihrer Wucherung und Erhaltung gewisse Bedingungen erfordern.

Wenn also durch Wasserniederschläge irgendwie aufgenommene Bakterien allmählich und zwar sehr langsam in die tieferen Schichten eindringen, so gelangen sie gleichzeitig in andere Bedingungen, sowohl was Nährsubstanzen, Temperatur, als auch Luftzutritt und Luftzusammensetzung etc. betrifft, und sterben infolgedessen gröſstenteils ab.

Der wichtigste aus den Versuchen von Fränkel sich ergebende Schluſs ist mit Bezug auf die Trinkwasserfrage derjenige, daſs man in gewissen und zwar nicht sehr groſsen Tiefen auf keimfreie Bodenschichten stoſsen kann, und daſs — wenn wir in denselben Grundwässer antreffen — auch diese keimfrei sind.

Infolgedessen kann mit aller Bestimmtheit und Gewifsheit gefolgert werden, dafs — wenn auf die Oberfläche oder überhaupt in die oberen Schichten irgendwelche pathogene Keime gelangen würden, auch diese in jene Bodenschichten oder solche Grundwässer, die keimfrei sind und daher durch die Filtrationsfähigkeit des Bodens überhaupt vor dem Eindringen der Bakterien geschützt sind, in keiner Weise gelangen können.

Denn die pathogenen Bakterien, die sich von den gewöhnlichen saprophytischen durch Gröfse nicht unterscheiden, müssen sich, wie ja selbstverständlich, bei ihrem Durchtritte durch den Boden nach den oben besprochenen mechanischen Gesetzen richten.

Des weiteren kann man auch mit Bezug auf die Wirkung der ungünstigen Lebensbedingungen, die sie im Boden erwarten, auf Grund unserer Erfahrungen, nicht annehmen, dafs die pathogenen Mikroben gegen solche Einflüsse resistenter wären. Im Gegenteile kann behauptet werden, dafs die pathogenen Bakterien den ungünstigen Bodeneinflüssen gegenüber weniger resistent sind und denselben leichter unterliegen, als die saprophytischen Bakterien.

Es mufs jedoch gleichzeitig hervorgehoben werden, dafs von den hier erwähnten Regeln, nämlich dafs man in nicht zu grofser Tiefe auf sterile Grundwässer stofsen kann, welche sich auf feinkörnige Formationen beziehen, die zusammenhängende Schichten bilden, wie z. B. Sand- oder

Lehmaufschwemmungen, Abweichungen vorkommen können.

In den erwähnten aufgeschwemmten Formationen ist freilich die Filtrationsfähigkeit des Bodens eine solche, dafs die durch eine 4 bis 5 m starke Schicht von der Oberfläche geschiedenen Grundwässer regelmäfsig vollkommen steril, d. h. keimfrei sind.

In Terrains jedoch, die von tiefen Rissen durchzogen sind, mögen sie im sonstigen auch sehr feinkörnig und porös sein (solche Formationen sind z. B. Sandsteine, die zur Kreideformation gehören), gelten die angeführten Grundsätze nicht, und es bietet sich keine Garantie dar, dafs wir selbst in Tiefen von 20 bis 30 m sterile Schichten vorfinden. Denn unreine Flüssigkeiten, z. B. aus Kanälen, Latrinen, können in diese Risse und durch dieselben ganz leicht in grofse Tiefen gelangen.

Desgleichen ist klar, dafs in einem Terrain, das z. B. von Kanälen durchzogen ist, deren Grund tief unter der Oberfläche liegt, das Eindringen von Mikroben des Kanal- oder Latrineninhaltes auch in viel tiefer liegende Schichten 4 bis 5 m unter der Oberfläche möglich ist, besonders wenn die Kanäle durchlässig sind.

Es mufs nunmehr das Zurückhalten der aufgelösten Bestandteile im Boden besprochen werden.

In dieser Beziehung mufs das Nachfolgende erwähnt werden:

Auf die Zurückhaltung von in Wasser gelösten Bestandteilen wurde zum erstenmale von Bronner[1]) hin-

---

[1]) Bronner: Der Weinbau am Haardtgebirge von Landau bis Worms. Heidelberg 1836. III. Heft, Cit. nach Soyka: Boden.

gewiesen, der beobachtet hat, dafs bei Aufgiefsen von Dungjauche auf in einem mit gelochtem Boden versehenen Gefäfse befindliche Ackererde die abtropfende Flüssigkeit völlig geruchlos ist. Von der Richtigkeit dieser Beobachtung kann sich jeder spielend überzeugen.

Die Eigenschaft des Bodens, gelöste Bestandteile aus Flüssigkeiten zurückzuhalten, illustriert auch der nachfolgende Versuch in sehr instruktiver Weise: Man nimmt eine längere Glasröhre von etwa 3 cm Durchmesser, die mit schwarzer Gartenerde gefüllt wird und an einem Ende einen gelochten Verschlufs erhält. Am oberen Ende der Röhre wird langsam eine mit Fuchsin gefärbte Flüssigkeit zugetropft. Man kann sich überzeugen, dafs unten aus der Röhre eine farblose Flüssigkeit abtropft. Im oberen Teile der Röhre enthält dagegen die Stauberde das zurückgehaltene Fuchsin und zeigt rötliche Färbung.

Es ist wichtig, hervorzuheben, dafs, wenn wir in ein solches Rohr, in welchem die Gartenerde von dem zurückgehaltenen Fuchsin rötlich gefärbt erscheint, reines Wasser zugiefsen würden, der vom Boden einmal zurückgehaltene Farbstoff sich durch Zugiefsen von Wasser nicht mehr ausschwemmen liefse, so dafs das Wasser unten farblos abfliefsen würde.

Daraus geht hervor, dafs ein solches Zurückhalten von Bestandteilen durch den Boden durchsickernder Flüssigkeiten, welchen gegenüber die Absorptionsfähigkeit grofs ist, durch nachfolgende Ströme neuer Flüssigkeiten nicht mehr wettgemacht werden kann.

Die Fähigkeit des Bodens, aus der Lösung aufgelöste Bestandteile aufzunehmen, ist den Eigenschaften des Spodiums analog, das durch Glühen von animalischen Bestandteilen, besonders Knochen, bereitet wird und das z. B. in Zuckerraffinerien zum Zwecke der Beseitigung gewisser, in den Zuckersäften gelöster Verbindungen, die durch Kalkzusatz und Saturation nicht entfernt werden können, verwendet wird.

Die eben erwähnte Eigenschaft des Bodens heifst **Absorptionsfähigkeit.**

Man mufs jedoch im Auge behalten, dafs diese Absorptionsfähigkeit des Bodens je nach der Art des Bodens und der chemischen Qualität der durchsickernden Stoffe verschieden ist.

Die gröfste Absorptionsfähigkeit besitzt Torfboden. In kleinerem Mafse ist sie der Ackererde eigen. Noch weniger absorptionsfähig sind sandige Böden. Die geringste Absorptionsfähigkeit weisen die Kiesböden auf.

Einen anderen entscheidenden Umstand bilden bei der Absorptionswirkung die Konzentration und die Geschwindigkeit der durchsickernden Flüssigkeiten. Je gröfser die Konzentration, desto gröfser ist das Prozent der zurückgehaltenen Stoffe.

Die Gröfse der Absorption hängt weiterhin von der chemischen Qualität der gelösten Stoffe ab.

Von Stoffen, die im Boden durch Absorption stark zurückgehalten werden, sind Lösungen von eiweifshaltigen Stoffen, Harnstoff, Ammoniak und phosphorsaurem Kali zu nennen.

Durch die Versuche von Frankland, die sich speziell auf das Zurückhalten von in menschlichen Exkrementen enthaltenen Stoffen beziehen, ist bewiesen worden, dafs der Boden mächtig albuminoide Bestandteile der Exkremente und deren Zersetzungsprodukte zurückhält.

Mit Bezug auf salpetersaures Natron oder salpetersaures Kali, Nitrite, Chloride und kalksaure Salze ist die Absorptionsfähigkeit eine sehr geringe.

Was das Wesen der Absorptionsfähigkeit betrifft, d. h. was der Grund davon ist, dafs der Boden einzelne Verbindungen aus Lösungen an sich zu ziehen vermag, mufs zugestanden werden, dafs diese Frage noch nicht gebührend durchforscht ist. Es mufs blofs hervorgehoben werden, dafs die Entstehung der Absorptionsfähigkeit durch das Zusammenwirken gewisser chemischer und physikalischer Einflüsse gegeben ist.

Nachdem wir die Faktore, von denen die Absorption im Boden abhängt, besprochen haben, müssen wir unsere Aufmerksamkeit jenen Momenten zuwenden, welche den Verlust der Absorptionsfähigkeit nach sich ziehen.

Würden wir z. B. jenen Versuch mit dem Zutropfen der Fuchsinlösung in die mit Gartenerde gefüllte Röhre neuerdings anstellen, so könnten wir uns überzeugen, dafs sich bei Fortsetzung des Zutropfens endlich ein Stadium einstellt, in welchem unten eine gefärbte Lösung abfliefsen wird. Unter solchen Umständen sehen wir, dafs die Absorptionsfähigkeit des Bodens mit Bezug auf das Fuchsin erschöpft ist.

Ähnlich könnten wir bei fortgesetztem Zutropfen von stinkender Dungjauche in die mit Ackererde gefüllte Röhre konstatieren, dafs endlich unten auch eine stinkende Flüssigkeit abfliefsen wird.

Was den absoluten Wert der Absorptionsfähigkeit anlangt, so ist mit Bezug auf die oben angeführten Erkenntnisse klar, dafs derselbe teils von den physikalischen und chemischen Eigenschaften des Bodens, teils von dem Charakter der betreffenden Verbindungen, die in der durch den Boden durchsickernden Flüssigkeit enthalten sind, abhängt.

Des weiteren ist klar, dafs die Zeit, in welcher sich die Erschöpfung der Absorptionsfähigkeit einstellen würde, von dem Charakter des Bodens, der chemischen Zusammensetzung der Flüssigkeit und der Geschwindigkeit, mit welcher die Flüssigkeit durch den Boden sickert, abhängen wird.

Wenn nun die Absorptionskraft im Verlaufe des oben beschriebenen Versuches auch beschränkt erscheint, so ist doch ihre Wirkung in der Natur mit Bezug auf unreine, in den Boden eindringende Abfallstoffe unbeschränkt, ununterbrochen.

Die Ursache davon bildet der Umstand, dafs die **Absorptionskraft** infolge gewisser chemischer Veränderungen, welche der gröfste Teil der unter verschiedensten Verhältnissen in den Boden eingedrungenen Abfallstoffe, besonders auch Exkremente, eingeht und auf Grund welcher dieselben zerstört und in neue Verbindungen umgewandelt werden, **von neuem auflebt.**

Wenn wir z. B. jene mit Stauberde gefüllte Röhre, zu welcher wir die stinkende Dungjauche solange zugetropft haben, bis unten eine stinkende Flüssigkeit abflofs, längere Zeit, z. B. einige Monate, in Ruhe belassen würden und dann wiederum die stinkende Flüssigkeit zutropften, so könnten wir uns überzeugen, dafs unten wieder eine geruchlose Flüssigkeit abfliefsen wird. Daraus geht hervor, dafs die Absorptionsfähigkeit der in der Röhre enthaltenen Gartenerde, die erschöpft war, wiederum regeneriert wurde (in der Zeit, in welcher die Stauberde in der Röhre in Ruhe belassen wurde, gingen die durch Absorption zurückgehaltenen Stoffe chemische Umwandlungen ein, welche ihre bisherige Struktur zerstört haben).

Auf solche Weise ist in der Natur dafür gesorgt, dafs, solange das Gleichgewicht zwischen dem Eindringen verschiedener unreiner Abfallstoffe und -Flüssigkeiten und der Umwandlung (Zerstörung) derselben nicht gestört ist, so dafs das in den Boden Eingedrungene gleichzeitig gebührend chemisch umgeändert wird, das Vordringen vieler gelöster Bestandteile, besonders auch jener, die den menschlichen und tierischen Exkrementen eigen sind, in die tieferen Bodenschichten und somit in die Grundwässer völlig verhindert ist.

Hiermit sind wir gleichzeitig bei einer neuen, in hygienischer Beziehung sehr wichtigen Frage, d. h. bei der Umwandlung (Zerstörung) organischer Stoffe im Boden angelangt, die wir in dem nachfolgenden Absatze näher kennen lernen werden.

III. Kapitel.

Die Selbstreinigung des Bodens.

Das Eindringen von organischen Abfallstoffen verschiedensten (animalischen, vegetabilischen, industriellen) Ursprungs in das Erdreich ist, wie nach dem, was oben angeführt wurde, unnötig wäre, näher darzulegen, an stark bevölkerten Orten eine ganz gewöhnliche Erscheinung.

Vom hygienischen Standpunkte aus wird ein jedes solches Eindringen von organischen Abfallstoffen, welchen Ursprungs sie auch immer seien, als Bodenverunreinigung bezeichnet (und zwar aus dem Grunde, weil das Eindringen solcher Bestandteile Anstofs zu sanitären Mängeln geben kann).

Was das weitere Verhalten solcher in den Boden eingedrungener organischer Stoffe betrifft, so ist zuvörderst hervorzuheben, dafs dieselben ihren ursprünglichen chemischen Charakter nicht beibehalten, sondern sich zu zersetzen beginnen, bis sie endlich verschwinden. So zersetzt sich z. B. der in den Boden eingeackerte Dünger so vollkommen, dafs keine sichtbaren Spuren von ihm zurückbleiben. Desgleichen verschwinden Leichen im Boden bis auf die Knochen vollständig. Dasselbe

gilt auch von anderen in den Boden eindringenden organischen Stoffen.

Das Wesen der Zersetzungsvorgänge, durch welche organische Stoffe im Boden vernichtet werden, ist nur in den Hauptzügen bekannt; von den Details dieser sicherlich sehr komplizierten chemischen Erscheinung kennen wir nur unvollkommene Fragmente.

Bezüglich des Verlaufes und der Eigenschaften der auf Rechnung der betreffenden organischen Stoffe entstehenden Endprodukte sei vor allem bemerkt, dafs die vernichtenden Zersetzungsvorgänge a) oxydativen, b) reduktiven Charakter haben können.

Der oxydative Charakter ist dadurch gekennzeichnet, dafs bei der Zersetzung die Entstehung neuer Verbindungen mit der Anziehung von Sauerstoff verbunden ist (welcher der in den Poren des Erdreiches enthaltenen Bodenluft entnommen wird), so dafs als Endprodukte besonders Kohlensäure[1]), die in die Bodenluft übergeht, Salpetersäure, die jedoch bei ihrer Entstehung gebunden wird, so dafs man sie in Form von salpetersaueren Salzen vorfindet, und Wasser resultieren, d. h. der Kohlenstoff der organischen Verbindungen wird zu Kohlensäure, der Stickstoff derselben zu Salpetersäure und der Wasserstoff zu Wasser oxydiert.

---

[1]) Durch die Thatsache, dafs sich bei der Mineralisation organischer Stoffe im Boden Kohlensäure bildet, erklärt sich spielend, warum die in den Poren zwischen den Erdkörnern enthaltene Bodenluft mehr Kohlensäure enthält als die atmosphärische.

Menge der CO_2 in der Bodenluft . .	9—22	Volums ‰.
» » » » » atmosph. Luft	0.3—0.4	

Eine solche Umänderung von organischen Substanzen im Boden, wo auf Rechnung der organischen Stoffe im Boden Wasser, Kohlensäure und Salpetersäure entstehen, wird als Mineralisation oder Nitrifikation, oder auch als Selbstreinigung des Bodens bezeichnet.

Mineralisation aus dem Grunde, weil aus organischen Stoffen anorganische Verbindungen entstehen; Nitrifikation, weil unter den Oxydationsprodukten organischer Stoffe (die Stickstoff enthalten, wie z. B. menschliche Faeces) Salpetersäure (acidum nitricum) vorkommt; Selbstreinigung endlich, weil sich durch diesen Vorgang der Boden auf natürlichem Wege ohne Mitwirkung des Menschen der durch Eindringen organischer Stoffe bedingten Verunreinigungen entledigt.

Es mufs gleichzeitig bemerkt werden, dafs bei oxydativen Zersetzungen organischer Substanzen keine stinkenden, unangenehme Geruchsempfindungen hervorrufende Produkte entstehen.

Der reduktive Charakter ist dadurch charakterisiert, dafs der in ungenügender Menge vorhandene Sauerstoff bei der Bildung neuer Verbindungen in die neu sich bildenden Moleküle nicht eintreten kann, wodurch als Endprodukte Ammoniak, Sumpfgas, Schwefelwasserstoff (sauerstofffreie Verbindungen) entstehen.

Die in dieser Weise erfolgende Zersetzung heifst Fäulnis. Die hierbei entstehenden Produkte stinken.

Was die intermediären Produkte anbelangt, welche die Reihe bis zu jenen oben erwähnten einfachen Endverbindungen ausfüllen, so ist unsere Kenntnis derselben noch ganz ungenügend.

Bei der Fäulnis ist jedoch nicht ausgeschlossen, dafs aus organischen Stoffen im Boden giftige Produkte (Ptomaïne) entstehen könnten.

Zur Klarstellung der Oxydations- und Fäulniserscheinungen im Boden sei der nachfolgende Versuch von Fodor[1]) angeführt.

Fodor füllte zwei 135 cm lange Glasröhren mit je 1 kg Ackererde. Darauf gofs er täglich in die eine 10 ccm Harn, in die andere 1 ccm Harn, verdünnt mit 10facher Wassermenge. Dies wurde solange fortgesetzt, bis aus jeder Röhre je 100 ccm Flüssigkeit abgeflossen waren. Die aus der mit unverdünntem Harne benetzten Röhre gewonnene Flüssigkeit war trübe und roch nach Ammoniak, während die der zweiten, mit verdünntem Harne benetzten Röhre entnommene klar und geruchlos war.

Die unten aufgefangenen Flüssigkeiten enthielten in 100 ccm Milligramme:

	Aus der mit unverdünntem Harne benetzten Röhre	Aus der mit 10fach. Wassermenge verdünntem Harne benetzten Röhre
Organische Substanzen, (durch hypermangansaueres Kali bestimmt)	1740.0	17.20
Ammoniak	1000.0	1.75
Salpetersäure	0	92.0
salpetrige Säure . . .	0	11.1

[1]) Fodor: Hygiene des Bodens (Weyls Handbuch der Hygiene) Seite 125.

Aus diesem Versuche geht klar hervor, dafs in der mit unverdünntem Harne benetzten Röhre reduktive Zersetzungsvorgänge mit Bildung von Ammoniak, in der mit verdünntem Harne benetzten dagegen oxydative mit Bildung von Salpetersäure, also Nitrifikation, geherrscht haben.

Die Nitrifikation wurde ursprünglich (Dumas, Millon) für einen rein chemischen (durch die Einwirkung des Sauerstoffes auf die betreffenden organischen Stoffe bedingten) Oxydationsvorgang gehalten. Dumas stellte den kohlensaueren Kalk als den Zwischenträger hin, welcher den innigen Kontakt von Ammoniak und Luftsauerstoff zu stande bringe. Später wurde von Millon diese Vermittlerrolle den im Erdboden enthaltenen Humusverbindungen zugeschrieben.

Später wurde jedoch, namentlich durch Schlösing, Müntz, Hehner, Fodor und Wollny nachgewiesen, dafs die Nitrifikation der organischen Stoffe im Boden kein einfacher chemischer Vorgang sei, sondern dafs sie durch die Ein- und Mitwirkung von Mikroorganismen im Boden zu stande komme.

So wurde des besonderen der Nachweis geführt, dafs sich in einem Boden, in welchem die Mikroorganismen durch Erhitzen oder Durchleitung heifser Dämpfe vernichtet worden sind, unter sonst für die Nitrifikation vollkommen günstigen Bedingungen weder die Nitrifikation noch die Kohlensäureproduktion eingestellt hat.

Geradeso wie die Oxydation, ist auch die Reduktion (Fäulnis) der organischen Substanzen im Boden an die Mitwirkung von Mikroorganismen gebunden.

Die Mikroorganismen geben in beiden Fällen den Anstofs zu den Zersetzungsvorgängen, denen die organischen Stoffe im Boden anheimfallen.

In welcher Richtung aber sich die Zersetzungsvorgänge bewegen werden, ob in der Richtung der Reduktion oder jener der Oxydation, oder ob überhaupt solche Zersetzungsvorgänge in Gang kommen, dazu geben Faktoren Direktiven, die teils in bestimmten Eigenschaften des Bodens, teils im Wesen der organischen Verunreinigungen beruhen. Diese Umstände sind aus dem Grunde für die Entstehung der Reduktion oder Oxydation entscheidend, weil durch dieselben die für das Wachstum und die Wucherung der die reduktiven oder nitrifizierenden Zersetzungen hervorrufenden Mikroben notwendigen Bedingungen ermöglicht werden. Man darf nämlich nicht aus den Augen lassen, dafs auch hier, ebenso wie bei den höheren Organismen, der Hauptsatz Geltung hat, dafs, wenn eine bestimmte Mikrobenart in einem bestimmten Medium wuchern soll, die für ihr Wachstum und ihre Vermehrung notwendigen Bedingungen (Nährstoffe, Luftzutritt, Wärme etc.) eingehalten werden müssen.

Da die Kenntnis jener Einflüsse und Faktoren, von denen die Nitrifikation im Boden abhängt, sehr wichtig ist, so werden wir dieser Frage eingehendere Aufmerksamkeit widmen.

In dieser Beziehung müssen wir unsere Aufmerksamkeit vor allem der Bodenwärme zuwenden.

Es wurde festgestellt, dafs bei einer Bodentemperatur unter $+ 5^0$ C. die Bildung der Salpetersäure im Boden gleich null ist.

Mit der Erhöhung der Temperatur wird die Nitrifikation intensiver, so dafs etwa bei 36° ihr Maximum erreicht wird. Bei noch höheren Temperaturgraden wird ihre Intensität geringer und hört bei 55° vollkommen auf (Schlösing, Müntz, Warrington).

Diese Erscheinungen stehen, da ja — wie oben hervorgehoben wurde — die Nitrifikation durch Mikroorganismen hervorgerufen wird, in völligem Einklange mit den allgemeinen, den Einflufs der Temperatur auf das Wachstum der Mikroben betreffenden Erfahrungen.

Mit Hinblick auf den Einflufs der Temperatur gehört zu den schwerstwiegenden Thatsachen, dafs die Mikroben überhaupt ein gewisses Optimum der Temperatur (das freilich nicht bei allen gleich ist) aufweisen, bei dem sie am besten wachsen und gedeihen. Abweichungen von diesem Optimum, sei es nach oben oder nach unten, führen zur Abschwächung und stufenweise zur völligen Einstellung des Wachstums.

Im Lichte der gegebenen Erklärungen erscheint nun der Umstand verständlich, warum die Kohlensäureproduktion im Boden von der Temperatur abhängt, so dafs sie bei einem gewissen Grade derselben ihr Maximum vorzeigt.

Ein anderer wichtiger Faktor, von dem die Nitrifikation im Boden abhängt, ist die Feuchtigkeit des Bodens.

Es ist nachgewiesen worden, dafs das Austrocknen des Bodens die Nitrifikation unterdrückt. Erhöhung der Feuchtigkeit hat ein Anwachsen der Nitrifikation zur Folge (Schlösing und Müntz), jedoch darf der Zutritt

und die Zirkulation der Luft nicht verhindert werden. Werden durch anwachsende Feuchtigkeit die Poren mit Wasser verstopft, so dafs die Luftzirkulation stockt, so sinkt auch die Nitrifikation.

Der minimale Feuchtigkeitsgrad, bei welchem Oxydationsvorgänge im Boden noch möglich sind, ist nach Fodor[1]) und Möller mit 2% Feuchtigkeit (nach Gewicht) zu schätzen.

Daraus geht hervor, dafs unter den hierortigen klimatischen Verhältnissen die Feuchtigkeitsverhältnisse im Boden das ganze Jahr derartig sind, dafs sie für die Nitrifikationsvorgänge im Boden kein Hindernis bilden.

Wichtig ist die Erfahrung von Möller und Fodor[1]), dafs bei einer Erhöhung der Feuchtigkeit von 2% auf 4% in der ersten Zeit eine stürmische Oxydation der Stoffe im Boden zu Tage tritt, die aus der grofsen Kohlensäureproduktion erhellt, die bei weiterem Feuchtigkeitsanstiege zwar auch, jedoch in einem viel gemäfsigterem Tempo anwächst. Die Kohlensäureproduktion hört jedoch auch bei vollständiger Überschwemmung des Bodens nicht auf (die Nitrifikation hört auf).

Es wurde weiterhin bewiesen, dafs auf den Verlauf der Nitrifikation auch die Konzentration der die Verunreinigung bedingenden Stoffe oder mit anderen Worten der Grad der Verunreinigung einen wichtigen Einflufs hat. Zum Beweise kann wiederum der oben geschilderte Versuch von Fodor angeführt werden.

---

[1]) Fodor: Hygiene des Bodens, Seite 127 (Weyls Handbuch der Hygiene).

Aus diesem Versuche geht hervor, dafs in der mit der durch Zusetzen konzentrierten Harnes stark verunreinigten Erde gefüllten Röhre Reduktion eingetreten ist; die Nitrifikation fehlte gänzlich. In jener Röhre aber, welche mäfsig verunreinigt wurde, kam es zu einer bedeutenden Bildung von Salpetersäure — zur Nitrifikation. Trotzdem war der Verlauf der Zersetzungsvorgänge in der mit verdünntem Harne benetzten Röhre nicht ausschliefslich ein oxydativer, da in der abgetropften Flüssigkeit neben der Salpetersäure auch kleinere Quantitäten von Ammoniak und salpetriger Säure nachgewiesen werden konnten. Es kann jedoch behauptet werden, dafs bei Anwendung einer gröfseren Verdünnung als 1 : 10 in der Röhre ausschliefsliche Oxydation hätte erzielt werden können, so dafs man in der Lösung blofs Salpetersäure, nicht aber Ammoniak vorgefunden hätte.

Weiterhin geht aus diesem Versuche hervor, dafs in der Natur im Boden nicht nur ausschliefslich Oxydation oder nur ausschliefslich Reduktion zu Tage treten müssen, sondern dafs auch Übergangsstufen beobachtet werden können, bei denen entweder die Reduktion oder die Oxydation überwiegt, in welchem Falle dann die Endprodukte sowohl der Reduktion als auch der Oxydation (Ammoniak, salpetrige Säure und Salpetersäure) neben einander zu finden sind.

Es mufs hervorgehoben werden, dafs jedoch auch dort im Boden, wo zu Anfang ausschliefsliche Reduktion aufgetreten ist, so dafs als letztes Zersetzungsprodukt das Ammoniak allein zu Tage trat, bei genügend langer Frist und besonders bei

Ausschlufs weiterer Verunreinigungen, endlich vollständige Nitrifikation erzielt wird, so dafs das durch die Reduktion gebildete Ammoniak durch den nitrifizierenden Vorgang in Salpetersäure umgewandelt wird.

Wie weiterhin der Verlauf der Nitrifikation durch Änderung der Konzentration beschleunigt werden kann, ist aus dem nachfolgenden Versuche von Soyka[1]) sehr anschaulich zu ersehen.

Zum Teile unverdünnter, zum Teile in verschiedenen Proportionen verdünnter Harn wurde unter vollkommen gleichen, womöglich günstigen Bedingungen der Nitrifikation im Boden unterworfen. Hierbei ergaben sich folgende Resultate:

Grad der Konzentration		Das erste Erscheinen der Salpetersäure im Boden
Unverdünnter Harn	= 100%	nach 2 Monaten noch nicht nachweisbar,
Zur Hälfte verdünnter Harn	= 50%	nach 2 Monaten noch nicht nachweisbar
Zu $^1/_{10}$ verdünnt. Harn	= 10%	am 7. Tage nachweisbar
Zu $^1/_{100}$ verdünnt. Harn	= 1%	am 4. » »

Es ist nunmehr an der Zeit, den Einflufs des Bodens selbst auf den Verlauf der Nitrifikation zu besprechen.

In dieser Beziehung sei vor allem auf die, wie ich glaube, allgemein bekannte Erfahrung hingewiesen, dafs Leichen im Boden je nach dessen Eigenschaften in ungleicher Zeit verwesen. So ist des besonderen beobachtet worden, dafs in lockerem, sandigem Boden die Dauer

---

[1]) Zeitschr. für Biologie Bd. XIV, und Soyka, Boden, Seite 192.

der vollkommenen Verwesung viel kürzer ist als in wenig porösem Lehmboden.

Was die speziellen Bodenfaktoren betrifft, zu denen die Mineralisation organischer Stoffe in kausaler Beziehung steht, so ist vor allem die Wichtigkeit des chemischen Charakters des Bodens konstatiert worden. So hält man für bewiesen, dafs die Gegenwart gewisser Salze im Boden eine für die Nitrifikation notwendige Vorbedingung bildet. Es müssen nämlich im Boden Basen vorhanden sein, durch welche die beim Nitrifikationsprozesse gebildete Salpetersäure gebunden werden könnte.

Als die für die Nitrifikation vorteilhafteste Base ist CaO anzusehen (Prichard, Warrington). Aufser dem Calcium bieten auch Natrium- und Kaliumsalze (z. B. kohlensaure Salze) günstige Bedingungen für die Nitrifikation.

Des weiteren kann bereits auf Grund theoretischer Erwägungen vorausgesetzt werden, dafs bei der Mineralisation, deren Wesen in der Entstehung von hochoxydierten Verbindungen beruht, die folgenden Umstände einen wichtigen Einflufs haben müssen: 1. dafs die Bedingung des leichten Luftzutrittes gegeben sei, d. h. dafs der Boden vollkommene Luftpermeabilität besitze; 2. dafs die im Boden zu oxydierenden Stoffe in gröfstmöglicher Fläche mit der Luft in Berührung kommen. Es ist augenscheinlich, dafs beide Bedingungen mit der Porosität des Bodens zusammenhängen.

Je gröfser die Porosität, d. h. je gröfser das Gesamtvolumen der Poren, desto mehr Luft ist im Boden enthalten und desto leichter ist der Zutritt derselben.

Je gröfser die Porosität, desto gröfser ist weiterhin die Kontaktfläche der Luft gegenüber. Denn je gröfser die Porosität, desto feinkörniger ist die betreffende Formation. Je feiner aber die Bodenkörnchen sind, desto gröfser ist auch die Gesamtoberfläche aller (in einer bestimmten Einheit enthaltenen) Bodenkörner. Da die durchsickernden Flüssigkeiten an der Oberfläche der Körner haften, indem sie dieselben mit einer sehr dünnen Schichte umgeben, so ist klar, dafs, je poröser eine Formation, desto gröfser auch die gesamte Kontaktfläche der verunreinigenden Stoffe mit der Luft.

Es geht bereits aus dieser theoretischen Erwägung hervor, dafs, je feinkörniger die poröse Formation, desto intensiver auch die Nitrifikation ist. Diese Thatsache, welche die schnellere Verwesung der Leichen in porösem, sandigem Boden spielend erklärt, ist auch durch Versuche nachgewiesen worden.

Zum Beweise sei der nachfolgende Versuch von Soyka[1]) angeführt:

Körnergröfse (Durchschnitt)	Der gebildete Stickstoff in Form von Nitraten und Nitriten (auf 1 l Wasser) nach 18 Tagen	nach 36 Tagen
4—6 mm	180 mg	690 mg
2—4 »	480 »	1090 »
1.2—2.0 »	680 »	— »
0.6—1.2 »	860 »	1650 »

Desgleichen hat Prichard[2]) beobachtet, dafs ein Boden mit Körnern von 1 mm Durchmesser viel besser

[1]) Soyka: Boden, Seite 189.

[2]) Comptes rendus XCVIII, cit. nach Soyka: Boden, Seite 189.

nitrifizierte, als ein grobkörniger, dessen Körner 2—3 mm im Durchmesser maſsen.

Mit den oben angeführten Erfahrungen hängt auch jene allgemein bekannte Thatsache zusammen, daſs das Gedeihen von landwirtschaftlichen Pflanzen in eminenter Weise von der Auflockerung des Bodens abhängt, durch welche — wie soeben angeführt wurde — infolge der Vergröſserung der Porosität günstigere Bedingungen sowohl für die Entstehung der Salpetersäure, die für das Wachstum der Pflanzen unbedingt notwendig ist, als auch für die Bildung von Kohlensäure (als gleichzeitigem Produkte der mineralisierenden Zersetzung), durch welche viele im Boden enthaltene Nährstoffe in lösliche, für die Pflanzen geeignete Form überführt werden, geschaffen werden.

Aus dem Angeführten geht gleichzeitig klar hervor, in wie engem Zusammenhange die Hygiene der Abfallstoffe mit dem Wachstume und der Züchtung von Pflanzen, somit auch mit der Landwirtschaft, sich befindet.

Auf Grund der eben dargelegten Prinzipe kann weiterhin leicht erklärt werden, warum eine gröſsere Füllung der Bodenporen mit Wasser zur Abschwächung der Nitrifikation führt, welche Thatsache bereits ohne nähere Erklärung oben erwähnt wurde. Durch die Gegenwart einer gröſseren Wassermenge werden nämlich die Poren mit Bezug auf den Luftzutritt mehr oder weniger verstopft, d. h. der poröse Boden wird zu einem nichtporösen.

Die Erscheinung, dafs ein poröser Boden schneller mineralisiert, hängt sicherlich mit dem Um-

stande zusammen, dafs die Mineralisation erregenden Mikroben eben in einem von der Luft reichlich durchdrungenen Boden günstigere Wachstums- und Wucherungsbedingungen finden.

Ein anderer Umstand, von dem der Verlauf der Mineralisation abhängt, ist der chemische Charakter der die Bodenverunreinigung bedingenden Stoffe. So schreitet z. B. die Mineralisation von Fetten, Cellulose im Boden langsam fort. Noch länger widerstehen der Oxydation im Boden die in den Abwässern der Petroleumraffinerien enthaltenen Mineralöle.

Was die nitrifizierenden Mikroben anlangt, so sind für ihre Kenntnis die Arbeiten von Winogradsky[1]) von fundamentaler Bedeutung. Diesem Forscher gelang es, die nitrifizierenden Mikroorganismen in Reinkultur zu züchten. Aus seinen Beobachtungen geht vor allem hervor, dafs die nitrifizierenden Bakterien in zwei Hauptgruppen:

1. Nitrosobakterien,
2. Nitrobakterien

zu teilen sind.

Die Nitrobakterien besitzen die Fähigkeit, Ammoniak zu salpetriger Säure zu oxydieren. Nitrite werden von diesen Bakterien nicht verändert.

---

[1]) Winogradsky: Recherches sur les organismes de la nitrification, Ann. de l'institut Pasteur 1890, p. 123; II mémoire, p. 257; III mémoire, p. 760; IV mémoire IV 1891, p. 92; V mém. IV 1891, p. 577. — Sur l'assimilation de l'azote gazeux de l'atmosphère par les microbes; Compt. rend. 1894, 12 février.

Die Nitrobakterien ändern salpetrige Säure in Salpetersäure[1]) um. Auf das Ammoniak wirken sie nicht ein.

Aus dem, was über die Bedingungen der Mineralisation angeführt worden ist, geht hervor, dafs der Boden mit Rücksicht auf gewisse gegebene Verhältnisse seiner chemischen und physikalischen Zusammensetzung, seiner Feuchtigkeit, Temperatur, auf die Verhältnisse der Konzentration und der chemischen Zusammensetzung der eindringenden Verunreinigungen, in einem gewissen Zeitintervalle nur eine gewisse Menge derselben zu zersetzen (mineralisieren, nitrifizieren) vermag, d. h. die Fähigkeit der Selbstreinigung des Bodens ist beschränkt.

Werden also organische Stoffe in allzu reichlicher Menge dem Boden zugeführt, in gröfserer Menge nämlich, als er unter den gegebenen Verhältnissen zu zersetzen vermag, so häufen sich dieselben einesteils im Boden auf, andernteils aber schwenken die Zersetzungsvorgänge in die reduktive Richtung ein, d. h. es kommt zur Fäulnis mit der Bildung von Ammoniak, Schwefelwasserstoff, Kohlenwasserstoff u. a. als Endprodukten.

Solche Verhältnisse können namentlich im Boden von Städten zu stande kommen, in welchen auf einer kleinen Fläche verhältnismäfsig viel Bewohner zusammen-

---

[1]) Im Sinne der nachfolgenden Gleichung:

$$O\left\langle\begin{matrix}N=O\\N=O\end{matrix}\right. + O_2 = O\left\langle\begin{matrix}N\begin{matrix}=O\\=O\end{matrix}\\N\begin{matrix}=O\\=O\end{matrix}\end{matrix}\right.$$

gedrängt sind und in welchen um eine den hygienischen Anforderungen entsprechende Abschaffung der Abfallstoffe nicht gesorgt ist, so dafs das Eindringen und Einsickern von Abfallstoffen und -Flüssigkeiten nicht auf den geringsten, mit Hilfe der jetzigen technischen Hilfsmittel zu erreichenden Umfang beschränkt sind.

Unter solchen Verhältnissen kann es freilich dazu kommen, dafs ein grofser Teil der Abfallprodukte an den Boden abgegeben wird. Von München hat Pettenkofer nachgewiesen, dafs, bevor man der Abschaffung der Abfälle Aufmerksamkeit zuzuwenden begann, blofs etwa $^1/_{10}$ derselben weggeschafft wurde. Die übrigen $^9/_{10}$ sickerten in den Boden ein.

Ein anderes typisches Beispiel der Bodenverunreinigung haben die von Fodor[1]) in Budapest (vor der Durchführung der Kanalisation) ausgeführten Bodenuntersuchungen geliefert.

Fodor wies auf Grund chemischer Analysen von Bodenproben aus den inneren Stadtvierteln von Pest nach, dafs die Menge der im Boden enthaltenen organischen Stoffe ungefähr den von 100000 Menschen im Laufe von 37 Jahren angehäuften Exkrementen (Faeces und Harn) glich.

Die durchschnittliche Verunreinigung, gerechnet auf 1000 g Boden, erschien folgendermafsen:

Organischer Stickstoff . .	311 mg
» Kohlenstoff .	4130 »
Salpetersäure	157 »
Ammoniak.	10.17 »
Salpetrige Säure	1.09 »

[1]) Fodor: Hygien. Untersuch. von Luft, Boden u. Wasser II.

Die gröfste Verunreinigung zeigte eine von unterhalb eines Kanals genommene Bodenprobe, die 12.360 mg Stickstoff und 471.018 mg Kohlenstoff enthielt.

Des weiteren fand Fodor, dafs, je mehr der Boden verunreinigt war, desto mehr Ammoniak und desto weniger Salpetersäure in ihm enthalten war.

Zum Beweise dessen führt Fodor nachfolgende analytische Daten an:

	Gerechnet auf 1 kg Boden:		
	Organ. Stickstoff	Ammoniak	Salpetersäure (N_2O_5)
	mg	mg	mg
Verunreinigter Boden I	2437	426.4	—
» » II	1098	204.7	—
» » III	1112	202.0	—
Reiner Boden . . I	17	2.1	32
» » . . II	33	2.0	48
» » . . III	72	4.1	216

Andere bemerkenswerte Resultate erhielt Fodor durch Vergleichung der analytischen Ergebnisse von Untersuchungen des Bodens in verschiedenen Tiefen.

Die durchschnittliche Zusammensetzung der aus verschiedenen Tiefen genommenen Bodenproben ergab nachfolgende Verhältnisse.

	Gerechnet auf 1 kg Boden:	
	Organ. Stickstoff	Salpetersäure
Boden aus der Tiefe von 1 m	403 mg	140.0 mg
» » » » » 2 »	321 »	155.0 »
» » » » » 4 »	210 »	177.0 »

	Gerechnet auf 1 kg Boden: Ammoniak	salpetrige Säure
Boden aus der Tiefe von 1 m	12.8 mg	0.98 mg
» » » » » 2 »	10.2 »	1.14 »
» » » » » 4 »	7.2 »	1.14 »

Es geht daraus hervor, daſs der Boden organische Stoffe und Ammoniak am intensivsten zurückhält, so daſs ihre Menge in die Tiefe stufenweise schnell abnimmt. Salpetersäure aber nimmt in die Tiefe an Menge zu; sie tritt hier gewissermaſsen an die Stelle der mineralisierten organischen Substanzen.

Setzt man voraus, daſs die organischen Stoffe und das Ammoniak bei weiterem in die Tiefegehen so gleichmäſsig abnehmen werden, wie es von 1 m bis in die Tiefe von 4 m der Fall war, so kann man dafürhalten, daſs diese Stoffe in der Tiefe von 8 bis 10 m auf den Minimalwert herabsinken. Dieser Schluſs ist um so berechtigter, als man annehmen kann, daſs das Abnehmen der organischen Substanzen von 4 m hinab noch viel schneller vor sich gehen wird als in die Tiefe von 4 m, weil die unreinen Orte, als Latrinen, Kanäle, bis 2—3 m tief reichen, so daſs die aus denselben heraussickernden Verunreinigungen sich gleich bei ihrem Eintritte in den Boden in bedeutender Tiefe befinden, welcher Umstand bei Tiefen über 4 m nicht mehr in Betracht kommt.

Diese Befunde über die Abnahme der organischen Stoffe und des Ammoniaks in die Tiefe in stark verunreinigten Terrains sind von groſser Wichtigkeit. Wir werden noch einmal auf sie zurückkommen und zwar bei der Besprechung der Bedeutung des Ammoniaks im Grund- und Quellwasser.

IV. Kapitel.

Die Zusammensetzung der Quellen- und Brunnenwässer.

Es ist oben angedeutet worden, dafs unterirdische, durch Erdschichten dringende Wässer unter anderem in der Weise verändert werden, dafs sie den von ihnen durchspülten Formationen viele chemische Verbindungen entnehmen.

Welcher Art die betreffenden aufgenommenen gelösten oder suspendierten Stoffe sind, richtet sich nach den Eigenschaften der Schichten, durch welche das Grund- oder Quellwasser gedrungen ist.

Infolgedessen werden die unterirdischen Gewässer je nach dem Terraincharakter (sei dieser nun durch die geologische Formation selbst oder eventuell durch in den Boden eindringende menschliche, tierische oder industrielle Abfallstoffe bedingt), von verschiedener Zusammensetzung sein.

Es mufs jedoch hervorgehoben werden, dafs dieser Einflufs keineswegs so weitgehend ist, um der chemischen Zusammensetzung der Grundwässer einen typischen, für

die betreffende bestimmte Formation spezifischen Charakter aufzudrücken.

Zur Illustration dieses Satzes seien die Analysen von Reichardt angeführt, welche reine Quellwässer aus verschiedenen Formationen betreffen, und in welchen die einzelnen Bestandteile in Mittelwerten (Gramme auf 1 l) eingetragen sind.[1])

	Abdampf-Rückstand	Organische Stoffe	Salpetersäure	Chlor	Schwefelsäure	Calcium	Aluminiumoxyd	Deutsche Härtegrade
Granitformation .	0.0244	0.0157	0	0.0033	0.0037	0.0097	0.0025	1.27
Bunter Sandstein .	0.125—0.225	0.0138	0.0098	0.0042	0.0088	0.073	0.048	13.96
	0.32	0.0090	0.00021	0.0037	0.0137	0.129	0.029	16.95
Dolomit	0.41	0.0053	0.0023	Spuren	0.0210	0.140	0.065	23.1
Gyps	2.365	Spuren	Spuren	0.0161	1.1083	0.766	0.1225	92.78
Thonschiefer . . .	0.12	0	0.0005	0.0024	0.024	0.05	0.0073	6.06

Es ist weiterhin ersichtlich, dafs man wiederum aus den in solchen Wässern befindlichen Verbindungen oder Stoffen in vieler Richtung auch auf den Charakter der Schichten, durch welche solche Grund- oder Quellwässer gedrungen sind, schliefsen kann. Ein solcher Rückschlufs ist mit Hinblick auf die hygienische Beurteilung der Wässer in vieler Hinsicht von grofser Bedeutung.

Es fallen in dieser Richtung hin besonders jene Bestandteile in die Wagschale, die in der Verunreinigung des Bodens durch menschliche, beziehungsweise industrielle Abfallstoffe ihren Ursprung haben.

---

[1]) Citiert nach Rubner: Lehrbuch der Hygiene S. 272.

Wir stehen also nunmehr vor der Aufgabe, sowohl die in den Quellen- und Brunnenwässern vorkommenden Bestandteile, als auch ihre hygienische Bedeutung zu besprechen.

Die in den Wässern enthaltenen Bestandteile sind in zwei Hauptgruppen zu teilen.

In die erste derselben fallen die im Wasser gelösten Bestandteile, in die zweite jene, die im Wasser in Form von feinen Körperchen enthalten sind, d. h. die suspendierten Bestandteile.

Die gelösten Bestandteile.

Organische Substanzen.

Es ist hervorzuheben, dafs selbst die reinsten Quell- oder Grundwässer eine geringe Menge von aufgelösten organischen Substanzen enthalten.

Der Ursprung der im Wasser gelösten organischen Substanzen ist verschieden. Vor allem ist derselbe in den im Boden vermodernden Pflanzenteilen zu suchen. In diesem Falle gehören sie ihrem chemischen Charakter nach zu den sogenannten Huminverbindungen.

Als weitere Quelle sind Abfallstoffe animalen Ursprunges, als menschliche und tierische Exkremente, zu bezeichnen, die, durch den Boden durchsickernd, nicht genügend Zeit und Gelegenheit zur vollständigen Mineralisation gefunden haben oder auf irgendwelche Weise direkt in die Brunnen, Quellen oder Wasserleitungen hineingelangt sind.

Irgend eine schädliche Einwirkung auf die menschliche Gesundheit kann solchen gelösten organischen Stoffen, seien dieselben nun pflanzlichen oder tierischen Ursprunges, nicht zugeschrieben werden. Es ist zwar nachgewiesen worden, dafs bei der Fäulnis organischer stickstoffhaltiger Substanzen auch giftige Verbindungen, sogenannte Ptomaïne, entstehen können, und auch bei der reduktiven Zersetzung solcher stickstoffhaltiger Substanzen im Boden ist, wie oben erwähnt wurde, die Möglichkeit der Bildung ähnlicher Verbindungen nicht ausgeschlossen; trotzdem ist, da die Menge der in den Quell- oder Grundwässern gelösten organischen Stoffe stets, auch unter ungünstigen Bedingungen, verhältnismäfsig aufserordentlich gering ist (so dafs sie sehr verdünnt sind), eine schädliche, die menschliche Gesundheit gefährdende Einwirkung derselben ausgeschlossen.

Die Bedeutung der erhöhten Menge organischer Substanzen im Wasser beruht auf etwas ganz anderem.

Zur Klarstellung derselben ist die nachfolgende Frage zu stellen: Welch ein Rückschlufs kann aus der erhöhten Menge organischer Substanzen mit Rücksicht auf die Beschaffenheit der Bodenschichten gezogen werden? Mit Hinblick auf das in den vorausgehenden Absätzen Angeführte ist klar, dafs aus der erhöhten Menge organischer Substanzen geschlossen werden kann, dafs 1. in den Brunnen oder in die Quelle direkt irgendwelche unreine Zuflüsse von der Oberfläche oder durch Vermittlung von Bodenspalten aus Latrinen oder Kanälen (so dafs weder die Filtration noch die Ab-

sorption des Bodens in Wirksamkeit tritt) Zutritt haben; oder dafs 2. die unterirdischen Gewässer irgendwo mit Bodenschichten in Berührung gekommen sind, deren Absorptionsfähigkeit die in denselben enthaltenen organischen Stoffe nicht zurückzuhalten vermochte.

Was den unter 1. angeführten Schlufs betrifft, so ist klar, dafs es sich in diesem Falle um für die Wasserbegutachtung auf den ersten Blick gewichtige Konsequenzen handelt, da unter solchen Umständen das betreffende Wasser verdächtig wird, weil die Möglichkeit gegeben ist, dafs in manchen Perioden mit solchen direkten unreinen Zuflüssen auch pathogene Mikroorganismen mit eindringen können.

Was den unter 2. angeführten Schlufs anlangt, so könnte angenommen werden, dafs derselbe im grofsen und ganzen keinen Stützpunkt für die Beurteilung von Trinkwässern bietet, da die Zurückhaltung von Mikroorganismen (also auch von pathogenen), d. i. eine Filtrationserscheinung, und die Zurückhaltung von gelösten organischen Substanzen, d. i. eine Absorptionserscheinung, wie in einem vorausgehenden Absatze dargelegt worden ist, verschiedene Vorgänge sind, die auf völlig verschiedenen Grundlagen ruhen.

Nichtsdestoweniger kann man trotz der wesentlichen Verschiedenheit dieser Vorgänge aus der Absorptionsfähigkeit des Bodens den gelösten organischen Stoffen gegenüber in einzelnen Fällen wichtige Schlüsse ziehen. Denn, halten wir uns die im vorigen Absatze mitgeteilten Befunde von Fodor gleichzeitig vor Augen, so mufs

uns klar werden, dafs durch die Einwirkung der Absorptions- und Mineralisationsfähigkeit des Bodens das Eindringen oder Einsickern von organischen Substanzen in irgendwie tiefere Bodenschichten auch in Böden, die einer grofsen Verunreinigung seitens Kanälen oder Latrinen ausgesetzt sind, überhaupt unmöglich gemacht wird.

Wenn aber die Bodenresorption mit Bezug auf die organischen Substanzen ungenügend ist, so kann hieraus wiederum der Rückschlufs gezogen werden, dafs die die Übersättigung des Bodens mit organischen Stoffen bedingenden Quellen sich in naher Nachbarschaft oder gar selbst in direkter Berührung mit dem Niveau der Grundwässer befinden.

Aus dem Angeführten geht jedoch weiterhin hervor, dafs der Befund der vergröfserten Menge organischer Stoffe im Falle, dafs die Quelle der Verunreinigung gewisse Sammelstätten menschlicher oder tierischer Abfallstoffe, als Latrinen, Kanäle u. s. w. bilden, von bedeutender Wichtigkeit mit Bezug auf die hygienische Wasserbeurteilung sein wird.

Denn in solchen Fällen kann mit grofser Wahrscheinlichkeit der weitere Schlufs gezogen werden, dafs auch die Filtrierfähigkeit des Bodens, teils infolge der schwachen Filtrierschichte (die den Boden solcher unreiner Stellen von dem Spiegel der Grundwässer trennen), teils infolge der vergröfserten Filtriergeschwindigkeit[1]),

---

[1]) Die Filtrationsgeschwindigkeit der vertikal fortschreitenden Regenwässer ist, wie oben hervorgehoben wurde, aufserordentlich gering ($1^1/_3$—2 m im Jahre), weil sich die Wasserniederschläge in

mit Bezug auf die Zurückhaltung der Mikroben ungenügend sein wird.

Dadurch ist aber der solchen unreinen Orten eigenen bakteriellen Vegetation mit grofser Wahrscheinlichkeit auch die Möglichkeit geboten, in die Grundwässer einzudringen. Infolgedessen entsteht zu Zeiten, zu welchen in solche unreine Sammelstätten von menschlichen oder tierischen Abfallstoffen, z. B. mit den Exkrementen, pathogene Organismen gelangen, die Gefahr des Eindringens derselben in die Grundwässer des betreffenden Terrains.

Wiewohl also auf Grund des eben Angeführten der vergröfserten Menge der organischen Substanzen im Wasser, im Falle, dafs diese im Durchsickern von menschlichen und tierischen Exkrementen ihren Ursprung haben, eine sehr grofse symptomatische Bedeutung für die Verdächtigkeit (mit Bezug auf die Möglichkeit des Eindringens pathogener Mikroben) des Wassers haben kann, so darf trotzdem nicht verschwiegen werden, dafs nicht jede Vermehrung der organischen Stoffe in diesem Sinne aufgefafst werden kann, wie dies vielfach (namentlich von seiten der Chemiker) zu geschehen pflegt, die jede Vergröfserung der

gewissen Intervallen hintereinander einstellen. Handelt es sich jedoch um Durchsickerung von durchlässigen Kanälen oder Latrinen, so kann mit Bestimmtheit geurteilt werden, dafs die Filtrationsgeschwindigkeit viel gröfser sein wird, weil das Durchsickern ununterbrochen vor sich geht. Die Filtrationsgeschwindigkeit hat jedoch, wie bekannt und nicht notwendig ist nachzuweisen, auf den Filtrationseffekt einen sehr bedeutenden Einflufs.

organischen Stoffe, gleichviel welchen, selbst augenscheinlich pflanzlichen Ursprungs, für das Trinkwasser nicht nur als anstöſsig, sondern das Wasser selbst aus diesem Grunde direkt als infektiös (!) bezeichnen.[1])

Es muſs im Gegenteile mit Nachdruck hervorgehoben werden, daſs, wenn die Vermehrung der gelösten organischen Stoffe durch vermodernde Körper oder Pflanzenreste bedingt ist, mit denen das Wasser in den Bodenschichten in Berührung kommt, einer solchen Vermehrung nicht nur keine symptomatische Bedeutung mit Bezug auf die Verdächtigkeit, sondern auch keine Infektiosität beizumessen ist, und daſs, wenn der Geschmack, das Aussehen und die anderen Eigenschaften des Wassers sonst entsprechend sind, darin kein Grund zur Beanstandung zu suchen ist.

Ammoniak und salpetrige Säure.

Der Ursprung des Ammoniaks der Grund- und Quellwässer ist regelmässig[2]) in der Zersetzung organischer stickstoffhaltiger Substanzen zu suchen, bei welcher, im Falle, daſs sie reduktiven Charakter besitzt, diese Verbindung als Endprodukt erscheint; freilich kann später, wenn die nötigen Bedingungen gegeben sind, das Ammoniak nitrifiziert werden.

---

[1]) Ähnliche Gutachten hat der Verfasser einigemale zu lesen Gelegenheit gehabt.

[2]) Ausnahmsweise kann das Ammoniak in die Brunnenwässer durch Regenniederschläge gelangen, welche diese Verbindung, die zu den normalen Luftbestandteilen gehört, regelmäſsig ans der Luftatmosphäre herausspülen.

Was die Bedeutung des Ammoniaks in Brunnen- und Quellwässern betrifft, so ist hervorzuheben, dafs demselben in Anbetracht der grofsen Verdünnung, in welcher es in den erwähnten Wässern zu Tage tritt (es handelt sich hierbei gewöhnlich um Werte, die in der chemischen Terminologie als »Spuren« bezeichnet werden) bei der Verwendung derselben als Trinkwasser keine schädigende Wirkung auf den menschlichen Organismus zugeschrieben werden kann.

Trotzdem können bei Wasserbeurteilungen unter gewissen Umständen aus der Gegenwart von Ammoniak gewisse wichtige Schlüsse gezogen werden.

Mit Hinblick auf das, was über die Bildung von Ammoniak angeführt worden ist und mit Rücksicht auf die Befunde von Fodor über das Verhalten desselben im Boden, kann nämlich aus der Gegenwart des Ammoniaks in Grund- oder Quellwässern geschlossen werden, dafs

a) in den Brunnen oder die Quelle irgendwelche unreine Zuflüsse, in welchen faulende organische stickstoffhaltige Substanzen sich befinden, direkten Zutritt haben (so dafs weder die Filtration, noch die Absorption des Bodens in Wirksamkeit tritt), oder dafs

b) der Untergrund von Sammelstätten für organische stickstoffhaltige in fauliger Zersetzung befindliche Substanzen (Kanälen, Latrinen), aus denen die Durchsickerung geschieht, sich in naher, eventuell unmittelbarer Nachbarschaft des Grundwasserspiegels befindet.

Was den unter b) angeführten Schlufs betrifft, so kann man zu demselben auf dieselbe Weise wie bei der vergröfserten Menge der organischen Stoffe gelangen.

In einem solchen Falle, in welchem es sich um aus organischen stickstoffhaltigen Substanzen der menschlichen oder tierischen Exkremente gebildetes Ammoniak handelt, kommt ihm, ähnlich wie bei der Vergrösferung der organischen Stoffe im Wasser, eine wichtige symptomatische Bedeutung mit Bezug auf die Verdächtigkeit zu, da hierbei mit grofser Wahrscheinlichkeit die Möglichkeit gegeben ist, dafs die Mikroben der Exkremente, also eventuell auch pathogene Mikroorganismen, in die Grund- und Quellwässer gelangen können.

Es ist jedoch wiederum hervorzuheben, dafs Fälle vorkommen, wo dem Ammoniakbefunde die eben angeführte symptomatische verdächtigende Bedeutung nicht beigemessen werden kann.

So ist in neuerer Zeit nachgewiesen worden, dafs das Ammoniak der Grundwässer auch der Zersetzung von Pflanzenresten entstammen kann, die den früheren Perioden des Erdballes angehört haben und mit der durch Eindringen von tierischen oder menschlichen Exkrementen und den damit verbundenen chemischen Umsetzungen bedingten Verunreinigung des Bodens nichts zu thun haben. Je nach den Bodenverhältnissen kann aus solchem Ammoniak weiterhin eine gröfsere oder kleinere Menge salpetriger Säure und Salpetersäure entstehen (deren Entstehung aus Ammoniak mit Hinblick auf die Erwägungen des vorhergehenden Absatzes leicht

zu erklären ist). Zum Beweise können besonders die Untersuchungen von Kurth[1]) in Bremen angeführt werden, durch welche konstatiert worden ist, daſs selbst ein Befund von 10 mg Ammoniak, von 2 mg salpetriger Säure und 300 mg Salpetersäure in 1 Liter zu einem Schlusse auf eine Verunreinigung des Bodens durch menschliche oder tierische Exkremente nicht berechtigt.

Hierher gehört weiterhin, daſs das Ammoniak durch Reduction der Salpetersäure im Brunnen selbst entstehen kann, wenn das Wasser in demselben durch längere Zeit gestockt ist, ohne abgepumpt zu werden.[2])

Endlich muſs erwähnt werden, daſs Fälle vorkommen, in welchen das Durchsickern von Kanalbestandteilen

---

[1]) Zeitschr f. Hygiene und Infektionskrankheiten IX, Seite 1.

[2]) Ein solcher Fall wurde bei der Analyse eines in der mir unterstellten k. k. allgemein. Nahrungsmittel-Untersuchungsanstalt zur Untersuchung gelangten Wassers beobachtet, das sowohl Ammoniak als salpetrige Säure aufwies. Da jedoch der Lokal Augenschein vollkommen günstig war und keine Anhaltspunkte ergab, die auf eine Verunreinigung des Bodens durch organische Stoffe, sei es tierischen oder pflanzlichen Ursprungs, in reduktiver Zersetzung hingewiesen hätten, so blieb keine andere Erklärung übrig, als daſs es sich um eine Reduktion der Salpetersäure im Brunnen selbst infolge längerer Nichtbenützung desselben handle, die auch thatsächlich zugestanden wurde. Eine Wiederholung der Probe, nachdem das Wasser längere Zeit vollkommen abgepumpt worden war, bestätigte völlig diese Konklusionen. Sowohl das Ammoniak als die salpetrige Säure sind verschwunden. Zu erwähnen ist, daſs das Wasser der ersten Probe auch um einige Grade weicher war, als das der zweiten. Wahrscheinlich änderten sich infolge des längeren Aufenthaltes des Wassers im Brunnen die doppeltkohlensauren Kalke in neutrale unlösliche um, die zum Boden sanken und so die Härte verminderten.

und das damit verbundene Eindringen der Mikroben des Kanalinhalts mit aller Bestimmtheit nachgewiesen wurde (durch Lokalaugenschein und bakteriologische Analyse), ohne dafs jedoch die Gegenwart von Ammoniak oder einer gröfseren Menge organischer Substanzen hätte konstatiert werden können.[1])

Solche negative Befunde sind dadurch zu erklären, dafs das Ammoniak oder auch die diesbezüglichen organischen Substanzen bei ihrem Eindringen in die Grundwässer derartig verdünnt werden können, dafs der chemische Nachweis derselben, trotzdem wir namentlich in Nefslers Lösung ein für Ammoniak ungewöhnlich empfindliches Reagens besitzen, nicht gelingt.

Es ist nunmehr an der Zeit, die Bedeutung der salpetrigen Säure im Wasser zu besprechen.

Auch der Ursprung der salpetrigen Säure der Trinkwässer ist in der auf reduktiver Basis verlaufenden Zersetzung organischer stickstoffhaltiger Substanzen zu suchen.

Die aus ihrer Gegenwart im Wasser zu ziehenden Schlüsse sind denjenigen, welche aus der Konstatierung von Ammoniak hervorgehen, vollkommen analog. Ihre Bedeutung im Wasser beruht also nicht darin, dafs sie in der Verdünnung, in welcher sie in den Wässern vorkommt, gesundheitsschädlich werden könnte, sondern wieder in dem Umstande, dafs sie das Wasser in der

---

[1]) Solche Fälle sind in meiner Abhandlung »Ein interessanter Fall von Trinkwasserbeurteilung«, Monatsschr. für öffentl. Gesundheitspflege 1898, Nr. 4, mitgeteilt.

Richtung einer möglichen Beimengung von Infektionserregern verdächtig macht.

Wiederum mufs man jedoch im Auge behalten, dafs ihr Ursprung auch in den in den Brunnen gelangten Regenniederschlägen oder in der Zersetzung von im Boden abgelagerten Pflanzenresten und -Körpern gesucht werden kann, in welchem Falle dann jede symptomatische Bedeutung hinsichtlich der Verdächtigkeit wegfällt.

Geltung hat auch, dafs selbst bei nachgewiesenem Durchsickern von Kanalsubstanzen in die Grundwässer der Nachweis der salpetrigen Säure negativ ausfallen kann.[2]

Salpetersäure.

Die Salpetersäure des Grund- oder Quellwassers hat ihren Ursprung wiederum in der Zersetzung organischer stickstoffhaltiger Substanzen, deren Stickstoff durch nitrifizierende Vorgänge im Boden in diese Verbindung umgeändert worden ist.

Die Salpetersäure ist für die Wasserbeurteilung im grossen und ganzen von untergeordneter Bedeutung.

Was den direkten Einflufs der salpetersauren Salze auf den menschlichen Organismus betrifft, so kann behauptet werden, dafs mit Rücksicht auf die verhältnismäfsig geringe prozentuelle Menge derselben, welche in den Trinkwässern vorkommt, ein schädigender Einflufs überhaupt ausgeschlossen ist. Man kann aber den salpetersauren Salzen nicht einmal eine symptomatische Bedeutung in Bezug auf die Infektionsverdächtigkeit beimessen.

---

[1]) l. c.

Zum Beweise können nachfolgende Gründe angeführt werden. Die Absorptionsfähigkeit des Bodens ist, wie im vorhergehenden Absatze dargelegt wurde, in Bezug auf salpetersaures Natrium, Kalium und Calcium sehr gering. Infolgedessen ist die Möglichkeit gegeben, dafs die salpetersauren Salze sehr leicht in bedeutende Tiefen eindringen können.

Schöne Belege dafür bilden besonders die im vorhergehenden Absatze angeführten Analysen von Fodor. Durch dieselben ist konstatiert worden, dafs die Menge der Salpetersäure in einem grofser Verunreinigung ausgesetzten Boden mit der Tiefe anwuchs.

Es ist daher klar, dafs sich die Salpetersäure im Boden gerade umgekehrt verhält als die Mikroben, von welchen wir gehört haben, dafs sich ihrem Eindringen in tiefere Schichten infolge der Filtrationsfähigkeit des Bodens grofse Hindernisse in den Weg stellen.

Mit Rücksicht darauf ist also einleuchtend, dafs aus der Gegenwart einer gröfseren oder kleineren Menge von Salpetersäure im Wasser keine genügend gestützten Schlüsse bezüglich der Möglichkeit des Durchdringens von Mikroorganismen überhaupt und eventuell der Beimengung pathogener Mikroben zu den Grund- oder Quellwässern gezogen werden können.

Der Befund der Salpetersäure im Wasser kann höchstens zur Verstärkung der Beweise und Schlüsse, die aus den Befunden von Ammoniak oder salpetriger Säure im Wasser hervorgehen, verwendet werden, in

welchem Falle die Salpetersäure den Vorzug bietet, dafs man sich mit Hilfe ihrer quantitativen Bestimmung ein bestimmteres Bild von dem allgemeinen[1]) Grad der durch organische stickstoffhaltige Substanzen hervorgerufenen Verunreinigung des Terrains bilden kann.

Chlor und Chloride.

Der Ursprung des im Boden enthaltenen Chlors ist regelmäfsig in einer Verunreinigung durch menschliche oder tierische Abfallstoffe zu suchen, von denen besonders der Harn ein bedeutendes Quantum von Chlor[2]) enthält.

Reine Bodenschichten enthalten Chlor blofs in der Nachbarschaft des Meeres oder von Salzseen.

Chloride bilden, ähnlich wie die salpetersauren Salze einen konstanten Bestandteil der Grund- und Quellwässer. Der Grund davon ist teils die Thatsache, dafs die Chloride in verschiedenen Formationen und Schichten infolge der Gegenwart und Thätigkeit von Menschen einen regelmäfsigen Bestandteil bilden, teils dafs die Absorptionsfähigkeit des Bodens den Chloriden gegenüber gering

[1]) Wäre z. B. die Bodenverunreinigung und die eventuell aus derselben entspringende Beimengung von Ammoniak zum Grundwasser an einen bestimmten Ort lokalisiert, so wäre in diesem Falle keine grofse Erhöhung der Salpetersäure für das gesamte Grundwasser zu erwarten, da zu einer solchen eine allgemeinere Verunreinigung des Terrains des betreffenden Grundwassers unumgänglich notwendig wäre.

[2]) Die Menge des in der von einem erwachsenen Menschen pro Tag ausgeschiedenen Harnmenge enthaltenen Chlores ist ungefähr 15 g gleich.

ist, so dafs sie sowohl leicht in die tieferen Schichten eindringen (ähnlich wie die salpetersauren Salze), als auch leicht ausgelaugt werden können.

Was die Bedeutung der Chloride im Wasser betrifft, so ist einleuchtend, dafs denselben eine ähnliche Bedeutung wie den salpetersauren Salzen zukommen mufs.

Calcium-, Magnesium-Oxyd- und Schwefelsäure.

Die Calcium- und Magnesium-Oxyd-Salze bedingen als regelmäfsige Bestandteile der Grund- und Quellwässer die sog. Härte derselben.

In die Wässer gelangen sie durch Auslaugen von Bodenschichten, welche diese Verbindungen entweder a priori enthalten, oder dieselben infolge von Verunreinigung durch Exkremente aufgenommen haben. Besonders kann eine gröfsere Menge von Magnesiumoxyd in einzelnen Fällen auf die letzterwähnte Quelle hinweisen. Die Magnesiumsalze sind nämlich ein regelmäfsiger Bestandteil des Harnes.

Bei dem Auslaugen von Calciumverbindungen spielt in Fällen, in welchen es sich um kohlensauren Kalk, der im Wasser selbst unlöslich ist, handelt, die Kohlensäure die Hauptrolle, die freilich infolge fortdauernder Bildung bei der Zersetzung organischer Stoffe im Boden in unterirdischen Wässern konstant zugegen ist.

Durch Einwirkung der Kohlensäure, sei dieselbe im Wasser selbst in sehr geringer Menge enthalten, entsteht das lösliche Bicarbonat, das in die Grundwässer übergeht.

Was die Härte anbelangt, so unterscheiden wir eine a) temporäre und eine b) permanente.

Die temporäre Härte ist durch die erwähnten doppeltkohlensauren Salze bedingt. Wird ein solches z. B. doppeltkohlensauren Kalk enthaltendes Wasser gekocht, so verflüchtigt die halbgebundene Kohlensäure und der kohlensaure Kalk wird als feiner, weißlicher Niederschlag ausgeschieden.

Ähnlich verhält sich ein solches Wasser auch in dem Falle, wenn es ruhig an der Luft belassen wird. Dann muß nur die zur Ausscheidung des Niederschlages notwendige Zeit verlängert werden, da das Entfliehen der halbgebundenen Kohlensäure langsam vor sich geht.

Aus dem Angeführten geht gleichzeitig hervor, daß die die temporäre Härte bedingenden Bestandteile durch Kochen des Wassers mit nachfolgender Filtration oder Sedimentation entfernt werden könnten.

Auf die bleibende Härte, welche durch andere Salze bedingt wird, z. B. durch Chloride, salpetersaure Salze, Calcium- oder Magnesiumsulfate, hat das Kochen keinen Einfluß.

Als Vergleichseinheit wenden wir mit Hinblick auf die Menge des Calcium- oder Magnesiumoxydes bei der Beurteilung und Untersuchung der Wässer sog. Härtegrade an. Ein deutscher Härtegrad entspricht 10 mg Calciumoxyd oder der äquivalenten Menge des Magnesiumoxydes in 1 l Wasser.

Was die Bedeutung der Calcium- und Magnesiumsalze für den menschlichen Organismus anlangt, so ist das Nachfolgende hervorzuheben:

Ein Wasser, das eine große Menge dieser Salze enthält, kann Störungen im Digestionstraktus hervorrufen,

als Magenkatarrh, Diarrhoe, Verstopfung. Freilich mufs stets darauf geachtet werden, dafs die Angewöhnung hier eine grofse Rolle spielt, so dafs sich der menschliche Organismus auch an ein derartig hartes Wasser gewöhnt, das er früher nicht vertragen konnte.

Dafs das Trinken von bedeutend harten Wässern zur Bildung von Harnsteinen führen könnte, ist nicht bewiesen.

Als Grenzwert der Härte, der bei Trinkwässern nie überschritten werden sollte, sind etwa 50 deutsche Härtegrade anzusehen, da Wässer mit 25, 30 und 40 Graden noch ohne jede Schwierigkeit vertragen werden.[1])

Auch die Benützung der harten Wässer als Nutzwässer führt zu mancherlei Mifshelligkeiten. So wird beim Waschen viel Seife verbraucht.[2])

In der Industrie ist hauptsächlich die Entstehung des Kesselsteines auf das Ansetzen der die Härte bedingenden Salze (Calciumsulfat, kohlensaures Calcium und kohlensaures Magnesium) zurückzuführen. Weiterhin steht in einzelnen Industriezweigen die gröfsere Härte des angewendeten Wassers dem regelrechten und normalen Fortgange des Betriebes im Wege (z. B. in Malzfabriken oder Brauereien).

Mit Hinblick auf die eben angeführten Mängel der Verwendung dieser Wässer als Nutzwässer werden als

---

[1]) Siehe Löffler: Wasserversorgung (Weyls Handbuch der Hygiene I) Seite 771.

[2]) Wirken z. B. Calciumsalze auf Seife ein, so bildet sich infolge der wechselseitigen Einwirkung der Fettsäuren der Seife auf das im Wasser enthaltene Calciumoxyd eine neue Verbindung, nämlich Calciumseife, die jedoch im Wasser unlöslich ist.

durch praktische Erfahrungen ermittelter Grenzwert 20 deutsche Grade angesehen, der (besonders mit Rücksicht auf die Bildung des Kesselsteines) nicht überschritten werden sollte.

Aus dem Angeführten geht hervor, daſs die an die Härte gestellten Ansprüche nicht einheitlich sind, sondern von den Zwecken, denen sie dienen sollen, abhängen.

Wo es sich also um eine einheitliche Wasserversorgung handelt, z. B. in Städten, wobei das Wasser sowohl als Trink- als auch als Nutzwasser für Haus und Industrie dienen soll, so werden als Grenzwert der Härte 20 deutsche Grade genommen.

Handelt es sich jedoch um Beurteilung von Brunnenwässern, die zum Trinken bestimmt sind, so nimmt man die höhere Zahl, nämlich 50 deutsche Härtegrade, als Grenzwert.

Die in den Brunnen- und Quellwässern vorkommende Schwefelsäure ist verschiedenen Ursprungs. So kann dieselbe aus Formationen ausgelaugt sein, die Gips (Calciumsulfat) enthalten. Sie kann weiterhin auch menschlichen Exkrementen entstammen. Denn teils enthält der menschliche und tierische Harn schwefelsaure Salze, teils bieten auch organische, Schwefel enthaltende Substanzen (so enthalten z. B. Eiweiſsverbindungen neben Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Wasserstoff, auch Schwefel) bei Oxydationsvorgängen im Boden Material zur Bildung von schwefelsauren Salzen.[1])

[1]) So wie im Boden auf Rechnung des Stickstoffes organischer Substanzen Salpetersäure gebildet wird, so bildet sich wiederum auf Rechnung ihres Schwefels Schwefelsäure.

Die Bedeutung der Schwefelsäure im Wasser beruht hauptsächlich darin, dafs sie mit den die Härte bedingenden Basen verbunden zu sein pflegt (Calciumsulfat).

Phosphorsäure.

Diese Verbindung ist ein seltener Wasserbestandteil. Der Ursprung derselben ist in menschlichen und tierischen Exkrementen zu suchen. Die Phosphorsäure ist nämlich ein konstanter Bestandteil des Harnes. Aufserdem kann die Phosphorsäure in einzelnen Fällen gewissen industriellen Abfallstoffen (Einweichwässer in Malzfabriken und Brauereien) entstammen.

Da die Absorptionsfähigkeit des Bodens den phosphorsauren Salzen gegenüber sehr grofs ist, so dafs sie nur bei ungewöhnlicher Verunreinigung des Bodens in die Grundwässer gelangen kann, so ist ihre Bedeutung in Bezug auf .die Wasserbeurteilung ähnlich wie die Bedeutung des Ammoniaks.

Kohlensäure.

Die Kohlensäure gehört unter die konstanten Bestandteile der Quell- und Grundwässer. Ihr Ursprung ist (wenn es sich nicht um Säuerlinge handelt) in den Beziehungen der Grundwässer zu der Bodenluft zu suchen, die infolge der im Boden verlaufenden Oxydationsvorgänge die Kohlensäure in bedeutenderer Menge enthält.

Die Kohlensäure kann den Trinkwässern einen pikanten, erfrischenden Geschmack erteilen. Die zur Offenbarung jenes Geschmackes nötige minimale Kohlen-

säuremenge beträgt nach Bizzozero[1]), der diese Frage näher untersucht hatte, 55 ccm Kohlensäure auf 1 l Wasser.

Es ist freilich hervorzuheben, dafs der Kohlensäuregehalt der gewöhnlichen Quellen- oder Brunnenwässer regelmäfsig diesen Wert nicht erreicht, indem er nur einige Kubikcentimeter im Liter beträgt.

Eisen.

Das Eisen erscheint am häufigsten in Form des doppeltkohlensauren Eisenoxyduls und zwar in den Grundwässern des diluvialen Sandes und Gerölles, in welchen Eisensilicate teils einen integrierenden Bestandteil der Sandkörner bilden, teils jedoch auch kohlensaurer Kalk in sehr geringer Menge zugegen zu sein pflegt.

Die Entstehung des doppeltkohlensauren Eisenoxyduls in solchen Schichten ist etwa in nachfolgender Weise zu erklären:

Durch die Einwirkung des Kohlensäure und organische Substanzen enthaltenden Grundwassers werden die Silicate zersetzt, und wenn die Körner Eisen enthalten, so entsteht auch kohlensaures Eisenoxydul.

Die organischen Stoffe wirken bei diesen Vorgängen nicht nur als reduzierende Substanzen, sondern beeinflussen auch die Lösung des Eisens in günstigem Sinne.

Was den Einflufs der Abwesenheit des kohlensauren Kalkes anlangt, so ist das Nachfolgende hervor-

[1]) Bizzozero: Methoden der Wasserreinigung und die Vorurteile gegen das abgekochte Wasser.

zuheben: Der kohlensaure Kalk verbindet sich leicht mit der im Wasser enthaltenen Kohlensäure zu löslichem doppeltkohlensaurem Kalk. Wenn derselbe also nicht vorhanden ist, so ist eher die Möglichkeit der Einwirkung der Kohlensäure auch auf solche Verbindungen gegeben, deren chemische Bindung viel fester ist, wie z. B. bei den Silicaten.

Die Menge des in den Wässern der erwähnten Formationen enthaltenen Eisens kann in grofsen Grenzen schwanken. Sie erreicht auch 10, 15—30 mg in 1 Liter, als Eisenoxydul berechnet. Die durchschnittliche Menge ist gewöhnlich 2—3 mg in 1 Liter.

Es ist nunmehr an der Zeit, die Bedeutung des Eisens in den Grund- oder Quellwässern zu besprechen.

In dieser Beziehung mufs vor allem hervorgehoben werden, dafs dem Eisen ein gesundheitsschädlicher Einflufs — namentlich, wenn es sich um kleine Mengen desselben handelt — nicht beigemessen werden kann, und dafs im Gegenteile das Eisen in vielen Fällen und zwar in Krankheiten, die ihren Ursprung in gewissen Abnormitäten der Blutbildung haben, bedeutende Heilkraft besitzt.

Die durch die Eisenverbindungen bedingten Mängel beruhen in der Ausscheidung des Eisens in Form von flockigen Niederschlägen.

Die Entstehung von Niederschlägen kann auf rein chemischer Grundlage oder auf Grund biochemischer Vorgänge beruhen, die mit dem Wachstume gewisser Mikroorganismen zusammenhängen.

Was den ersteren Entstehungsmodus betrifft, so ist anzuführen, dafs, wenn doppeltkohlensaures Eisenoxydul

enthaltende Wässer mit der Luftatmosphäre in Berührung kommen, die Kohlensäure zu flüchten beginnt, so dafs unter gleichzeitiger Einwirkung des Luftsauerstoffes das Eisenoxydulsalz sich in Eisenoxydhydrat umwandelt, das im Wasser rostfarbene Flocken bildet. Läfst man daher ein solches Wasser einige Zeit an der Luft stehen, so wird es von solchen rostigen Flocken getrübt erscheinen.

Die mit der Wucherung gewisser Mikroorganismen in Zusammenhang stehende Eisenausscheidung kommt hauptsächlich in Brunnen und Wasserleitungen vor. Unter die Mikroorganismen, welche an solchen Orten der Ausscheidung des Eisens in causalem Nexus stehen, gehört vor allem Crenothrix polyspora (Cohn, Zopf.) Es hat sich nämlich gezeigt, dafs an Orten, zu welchen das Licht keinen Zutritt hat, also in geschlossenen Brunnen, Wasserleitungen und Reservoirs, die eisenhaltiges Wasser beherbergen, sich an den Wänden ein starker rostiger Belag bildet. Dieser entwickelt sich in dem Mafse, dafs das Lumen der Gassenröhren verengt und die engen Hausröhren verstopft werden. Diese rostigen Niederschläge, die sich bei der Wasserströmung von den Wänden teilweise ablösen und dem Wasser in Form brauner Flocken beimengen, machen das Wasser ungeniefsbar und auch als Nutzwasser unbrauchbar.

In diesen Niederschlägen können verflochtene, unverzweigte fadenförmige pflanzliche Organismen, sogen. Crenothrix polyspora (Cohn, Zopf) nachgewiesen werden. Das Eisenoxyd ist zum Teile in der Scheide, in welcher die fädigen Zellbände liegen, abgelagert, zum Teile ist dasselbe auf der Oberfläche dieser Organismen inkrustiert.

Nach Vejdovský[1]) ist auch ein Infusorium — Antophysa vegetans — Ursache der Bildung von solchen rostigen Niederschlägen in Wasserleitungen mit eisenhaltigem Wasser, dessen Keime in dendritische Drusen auswachsen, auf welchen sich dann in ungeheurer Menge das Eisenoxydhydrat niederschlägt.

Die angeführten Organismen haben in den Wasserleitungen vieler Städte so grofse Mifshelligkeiten hervorgerufen, dafs von der Lieferung eisenhaltiger Wässer Abstand genommen werden mufste. (Berlin).

Wir kennen nunmehr jedoch Hilfsmittel, vermittels welcher auch eisenhaltige Wässer verhältnismäfsig leicht hergerichtet werden können, so dafs sie zu keinen Mängeln Anlafs geben.

Das Prinzip dieser Hilfsmittel beruht darin, dafs das Wasser vor dem Einlassen in das Wasserleitungsnetz der Eisenoxydulverbindungen entledigt wird, wodurch die Wucherungsbedingungen der Crenothrix polyspora und Anthophysa eben ausgeschlossen werden.

Es gibt zwei meistenteils in der Praxis geübte Methoden der Eisenentfernung aus dem Wasser, die von Oesten und Piefke stammen.

Die Methode von Oesten. Das des Eisens zu entledigende Wasser wird aus der Höhe von etwa 2 m in Form einer Brause in ein Bassin eingelassen. Dadurch wird teils Flüchtung der halbgebundenen Kohlensäure, teils eine Bereicherung des Wassers mit Sauerstoff erzielt, was zur Folge hat, dafs sich im Bassin das

[1]) Vejdovský: Listy chemické 1890, S. 227.

Eisenoxydulsalz in kurzer Zeit durch Oxydation in Ferrihydrat — eine im Wasser unlösliche Verbindung — umändert. Die Entfernung des Eisenoxydhydrates aus dem Wasser geschieht mittels Filtration durch Kiesfilter.

Die Methode von Piefke geht von der nachfolgenden experimentellen Erfahrung aus: Wird durch ein das Ferrocarbonat enthaltendes Wasser Luft getrieben und soll die Ausscheidung des Eisens vollkommen sein, so mufs dies wenigstens durch 15 Min. geschehen. Durch Zusatz einer kleinen Menge von Eisenoxydhydrat in das Wasser kann jedoch die Dauer der Lufteintreibung auf eine Minute verkürzt werden. Das Ferrihydrat besorgt in diesem Falle die Rolle einer sauerstoffübertragenden Substanz (es gibt nämlich nicht nur den zur Oxydation des Eisenoxydulsalzes notwendigen Sauerstoff her, sondern zieht wiederum den Sauerstoff aus der eingetriebenen Luft an sich).

Die Ausnützung dieses Prinzipes erzielt Piefke in der Praxis mit Hilfe eines mit Coaks gefüllten Turmes von 2 m Höhe, in welchem das Wasser frei über die Coaks herabfliefst. Auf dem Coaks setzt sich das die Rolle des Sauerstoffvermittlers spielende Ferrihydrat an. Das ausgeschiedene Eisenoxydhydrat entfernt Piefke durch Filtration auf Sandfiltern.

Mit Hilfe der angeführten Methoden kann das Eisen bis auf einen unbedeutenden Rest (0,3 mg in 1 Liter) entfernt werden, so dafs sich die betreffenden Wässer zu allen Zwecken eignen, ohne die oben erwähnten Mängel inne zu haben.

Freilich sind die mit der Eisenentfernung verbundenen Kosten nicht ganz unbedeutend.

Blei.

Über den Ursprung des Bleies in Trinkwässern ist anzuführen, dafs zu Hauswasserleitungen häufig Bleiröhren gebraucht werden, die, weil sie sehr fest und zugleich biegsam sind, sich zu dem erwähnten Zwecke vom technischen Standpunkte aus sehr gut eignen.

Es ist jedoch in einzelnen Fällen beobachtet worden, dafs sich das Blei im Wasser aufgelöst hat, und dafs die Benützung des Wassers zu Vergiftungen geführt hat.

So sind besonders im Jahre 1886 in Dessau im Laufe einiger Wochen 92 Personen an chronischer Bleivergiftung erkrankt.

Durch chemische Untersuchung des Wassers ist festgestellt worden, dafs dasselbe, je nachdem, wie lange es in den Röhren verblieb, 0—12 mg Blei per Liter enthielt. Das Wasser war sehr weich (2.5 ^{0}) und enthielt eine bedeutende Menge von freier Kohlensäure (71 mg per Liter).

Die Auflösung des Bleies wurde dadurch verhindert, dafs man dem Wasser soviel pulverisierten Kalkspat[1]) zusetzte als nötig war, die Kohlensäure zu binden (Bildung des löslichen doppeltkohlensauren Kalkes).

Die Bedingungen der Löslichkeit des Bleies im Wasser sind bis jetzt nicht genau bekannt. Soviel ist jedoch sicher, dafs die chemische Zusammensetzung des Wassers auf die Auflösung des Bleies grofsen Einflufs hat (so bilden besonders doppeltkohlensaure Salze ein Hindernis für die Auflösung des Bleies).

---

[1]) Heyer: Ursache und Beseitigung des Bleiangriffs durch Leitungswasser. Dessau 1888.

Aus dem Angeführten geht hervor, dafs die Verwendung von Bleiröhren für Wasserleitungen zu vermeiden ist.

Nachdem ich die Bedeutung der einzelnen wichtigen Bestandteile, die bei der chemischen Analyse des Trinkwassers in Betracht kommen, besprochen habe, werden hier noch ihre quantitativen Werte, wie sie auf Grund zahlreicher von verschiedenen Autoren durchgeführter Analysen festgestellt worden sind, zusammengestellt (nach Flügge[1]).

Milligramme in 1 Liter:

	Minimum	Die in reinen Wässern gewöhnl. nicht überschrittene Menge	Maximum in abnormen Wässern
Menge der löslichen Bestandteile . . .	100	500	5 000
Organ. Substanzen .	0	40	1 300
Verbrauch des Sauerstoffes zur Oxydation org. Substanzen	0	2	65
Ammoniak	0	0	130
Salpetrige Säure . .	0	0	200
Salpetersäure . . .	1	15	1 300
Chlor	4	30	900
Calciumoxyd . . .	25	120	900
Magnesiumoxyd . .	0	50	500
Schwefelsäure . . .	2	100	1 000

[1]) Flügge: Lehrbuch d. Hygiene Seite 182.

Die suspendierten Bestandteile.

Der Nachweis und die Untersuchung der suspendierten Bestandteile werden in zweierlei Weise vollführt a) durch mikroskopische, b) durch bakteriologische Untersuchung.

Die durch mikroskopische Untersuchung nachweisbaren Bestandteile.

Zu diesem Zwecke werden Sedimente verwendet, die durch ruhiges Stehenlassen des Wassers in engen, hohen cylindrischen Gefäfsen längere Zeit hindurch gewonnen werden. Die betreffenden Bestandteile können eventuell auch durch Centrifugieren des Wassers herbeigeschafft werden.

Was den Charakter der Substanzen, aus welchen jene Sedimente bestehen, anlangt, so ist vor allem hervorzuheben, dafs sie Elemente mineralischen Ursprunges, als Sand- und Thonkörner[1]) (die in Säuren unlöslich sind) enthalten können.

Des weiteren können in den Sedimenten Stoffe pflanzlichen Ursprunges nachgewiesen werden und zwar Gewebefragmente, als Zellenbündel, Gefäfse, Pflanzenhaare etc.

Es sind jedoch in den Sedimenten auch Bestandteile animalischen Ursprunges, als mehr oder minder verdaute Muskelfasern, die auf eine Verunreinigung durch Faeces hinwiesen, aufgefunden worden.

---

[1]) Diese sedimentieren sehr schwer, da sie ungewöhnlich fein sind, indem sie im Durchmesser 0,0001 mm messen.

Ein weiteres wichtiges mikroskopisches Fundobjekt der Sedimente, das gleichfalls auf Verunreinigung durch Faeces hinweist, können Eier einiger parasitischer Würmer, besonders jener, die im Verdauungskanale des Menschen wohnen (Taenia, Ascaris u. a.) bilden.

Es ist freilich hervorzuheben, dafs viele solcher Würmer einen Xenosit (Schwein, Hund, Rindvieh) brauchen, in welchem sie aus dem Ei sich zu einem jedoch unvollkommenen Entwickelungsstadium entwickeln, worauf sie, in den menschlichen Organismus gelangt, erst ihre Entwickelung vollenden und dem Menschen gefährlich werden.

Die Eier solcher Parasiten sind also, in den Verdauungstractus des Menschen gelangt, nicht gefährlich. Unter diejenigen, die einen Xenosit brauchen, gehören bekanntlich besonders die Taenien.

Unter die Parasiten, die keinen Xenosit brauchen, gehört das Anchylostoma duodenale, ein 6—8 mm (Männchen) 10—12 mm (Weibchen) langer Wurm, der durch Ansiedelung im Dünndarme, besonders bei im Erdinnern beschäftigten Arbeitern, ganze Epidemien einer schweren, erschöpfenden, mit Kachexie verbundenen Krankheit hervorruft.

Die Krankheit wurde, solange ihre Ursache unbekannt war, in der Literatur je nach den Umständen, unter welchen sie beobachtet wurde, mit verschiedenen Namen bezeichnet und zwar als ägyptische Chlorose, tropische Chlorose, afrikanische Kachexie, amerikanische Kachexie, Tunnelkrankheit, Grubenarbeiteranaemie. In neuerer Zeit, nachdem die Ursache dieser Erkrankung klargestellt ist, heifst dieselbe Anchylo stomiasis.

Mit den Exkrementen solcher Kranken geht eine ungeheure Menge von Eiern ab. So hat Leichtenstern[1]) bewiesen, dafs 4000000 Eier in einem Stuhlgange des Kranken keine Seltenheit bilden.

Die Eier wachsen, wenn sie in ein feuchtes, klebriges, lehmiges Medium (wie es z. B. der Boden von Schächten in Gruben oder Tunnelen ist) gelangen, bei etwa 26° C., Luftzutritt und Lichtabschlufs, zu einer Larve aus, die mit der Nahrung oder mit dem Wasser in den Verdauungskanal gelangt, sich zum Wurme herausbildet, der besonders durch Blutabsaugen dem Notosit gefährlich wird.

Wie Erfahrungen aus Bergwerken oder Tunnelen lehren, können durch einige verschleppte Fälle unter den Bergleuten ganze Epidemien hervorgerufen werden.

Auch bei der tropischen Haematurie, die von Distoma haematobium hervorgerufen wird, spielt das Wasser wohl eine grofse Rolle. Die Eier wachsen im Wasser zu Embryonen aus, die entweder durch einen Xenosit gehen müssen, oder nach Loose[2]) direkt und zwar durch die Haut in den Menschen eindringen können.

Von Distoma hepaticum wird angenommen, dafs seine Embryonen einige Zeit bewegliche Wasserbewohner darstellen, worauf sie in die Körper gewisser Wassertiere gelangen und in denselben sich zu Larven entwickeln. Diese gelangen dann entweder mit dem Wasser

[1]) Citiert nach Schrader: Deutsche Vierteljahresschrift für öffentl. Gesundheitspflege 1899, S. 355.

[2]) Centralblatt für Bakterien- und Parasitenkunde 1894.

oder mit dem Fleische einiger gröſserer Wassertiere, die als Nahrung dienen, oder aber mit dem von solchem Wasser begossenen Gemüsen in den menschlichen Organismus, in welchem sie sich vollständig entwickeln und dann ihrem Gastgeber gefährlich werden.

Eine sehr gewöhnliche Erscheinung bilden bei der mikroskopischen Untersuchung von Quell- oder Brunnenwässern weiterhin einzelne Arten der niedrigsten Organismen, die unter die Rhizopoda (Amoeben), Infusorien (Euglena viridis, Vorticella u. a.), Rotatorien, Turbellarien u. a. gehören. Man kann sie in jedem durch längere Zeit stehenden Wasser finden. Eine pathogene Wirkung kommt ihnen nicht zu.

Von den Coccidien des Malariafiebers, die gleichfalls zu den niedrigsten Organismen gehören, ist hervorzuheben, daſs im allgemeinen die Meinung herrscht, daſs sie durch das Wasser auf den Menschen nicht übertragen werden.

Die von Celli, Marino und Zeri[1]) zu dem Zwecke, das Malariafieber durch Trinken oder Einatmen von Sumpfwasser hervorzurufen, angestellten Versuche, ergaben insgesamt ein negatives Resultat.

Endlich sind unter den hergehörigen Bestandteilen auch Algen anzuführen, von welchen besonders die Diatomaceaen und Oscillariaceaen in Quell- und Brunnenwässern häufig vorkommen. Dieselben sind natürlich unschädlich.

---

[1]) Ann. dell' Istituto d'igiene dell' universita di Roma 1890, Vol. II, Ser. 1, 123; cit. nach Löffler: Wasserversorgung (Weyls Handbuch der Hygiene).

Ob den animalischen oder pflanzlichen Organismen, die unter den unschädlichen angeführt worden sind, etwa die Bedeutung eines Index der normalen oder abnormalen Beschaffenheit der Wässer zukommt, darüber besitzen wir noch nicht genügende Erfahrungen.

Die durch bakteriologische Untersuchung nachweisbaren Bestandteile.

Die hierher gehörigen Bestandteile sind freilich in sanitärer Beziehung die wichtigsten. Denn eben die Erreger jener Infektionskrankheiten, besonders diejenigen der Cholera und des Typhus, bei welchen den herrschenden Anschauungen gemäfs das Trinkwasser das Medium ist, vermittels dessen die pathogenen Mikroben von Kranken auf Gesunde übertragen werden (indirekte Übertragungsweise), gehören unter die Organismen, die bisher nur mit Hilfe der bakteriologischen Forschung nachgewiesen werden können, bei welcher (zum Unterschiede von der mikroskopischen Untersuchung) das Züchten der betreffenden Mikroorganismen in Reinkultur den Haupt- und Stützpunkt der einschlägigen Methodik bildet.

In betreff der Mikroorganismen-Anwohnerschaft der Wässer ist vor allem hervorzuheben, dafs im Brunnen- oder Quellwasser, ob es nun diesen oder jenen Schichten entstammt, stets eine grössere oder kleinere Mikrobenzahl nachgewiesen werden kann. Auch die reinsten Quell- oder Brunnenwässer sind also von Bakterienkeimen nicht frei.

Dieser Satz steht nun freilich auf den ersten Blick in einem gewissen Gegensatze zu den früher angeführten

Behauptungen, daſs man in geringer Tiefe auf Bodenschichten und Grundwässer stoſsen kann, die vollständig keimfrei, d. h. steril sind.

Dieser Gegensatz ist jedoch nur scheinbar und leicht erklärlich. Man muſs sich nämlich vor Augen halten, daſs, wenn das Grundwasser aus den umgebenden Schichten auch in sterilem Zustande in den Brunnen einflieſst, es daselbst doch mit Substanzen in Berührung kommt, die Keime enthalten.

So mengen sich schon beim Brunnengraben zu dem von den Seiten eindringenden, keimfreien Wasser teils herabgefallene Bestandteile der oberen Schichten, die — wie in einem früheren Absatze dargelegt worden ist — eine immense Mikrobenmenge enthalten, teils an den Werkzeugen, vermittels welcher das Graben und Entfernen des abgegrabenen Erdreiches bewerkstelligt wird, haftende Mikroorganismen bei.

Der Einfluſs der angeführten Umstände ist bereits bei der Beobachtung mit unbewaffnetem Auge bemerkbar. Das in diesem Stadium des Tiefens geschöpfte Wasser erscheint nämlich mehr oder minder getrübt.

Weiterhin ist das Brunnenwasser auch mit anderen nicht sterilen (keimhaltigen) Gegenständen, als der Fassungsmauer, den Pumpen oder Schöpfeimern, der Luft in stetiger Berührung, die gleichfalls ein Beimengen von Mikroben zum Wasser zur Folge hat.

Auſserdem ist zu bemerken, daſs auch vollkommen reine, von organischen Bestandteilen fast gänzlich freie Brunnenwässer trotzdem noch die Wucherungsbedingungen gewisser Bakterien erfüllen, die so geringe Ansprüche

an die Gegenwart organischer Nährsubstanzen stellen, dafs sie mit dem minimalsten Quantum derselben ausreichen.

In dieser Beziehung können die sehr lehrreichen Versuche von Bolton[1]) angeführt werden. Derselbe unterwarf, um alle gelösten Stoffe möglichst zu entfernen, das destillierte Wasser einer nochmaligen Destillation und zwar in einem ganz aus Glas bestehenden Apparate.

In diesem Wasser, das organische Substanzen höchstens in minimalen Spuren enthalten konnte, vermehrten sich nun die im Wasser vorkommenden Mikroc. aquatilis, Bac. erythrosporus ebenso, wie im gewöhnlichen, an gelösten Stoffen reichen Wasser. Wurde nun ein solches Wasser, das Millionen von Organismen als Nahrung diente, wiederum sterilisiert und von neuem geimpft, so trat wieder dieselbe kolossale Wucherung ein. Auch bei der sechsmal wiederholten Sterilisation und Neuimpfung kam es zu derselben Vermehrung.

Die Bakterienarten, welche auch in reinen Wässern, wie z. B. Quell- oder Grundwässern, die für ihr Wachstum und ihre Wucherung notwendigen Bedingungen finden, sind sehr zahlreich und werden gewöhnlich Wasserbakterien genannt. Es sind dies besonders B. liquefaciens, B. punctatus, M. aquatilis, B. ochraceus u. a., die solche Wässer regelmäfsig bevölkern.

Die angeführten Umstände haben zur Folge, dafs, wenn auch in die Brunnen aus den umgebenden Schichten steriles Wasser fliefst, dasselbe selbst bei dauernder

---

[1]) Citiert nach Gärtner und Tiemann: Untersuchung des Wassers, Seite 493.

Wasserentnahme fortwährend durch gewisse Mikroben geschwängert wird, so dafs man bei der bakteriologischen Untersuchung der aus dem Brunnen entnommenen Proben stets Wasserbakterien vorfindet, deren Wucherung im Brunnen nicht vereitelt werden kann, was ja auch nicht notwendig[1]) ist, da sie vollkommen unschädlich sind.

Bei Anführung dieser Thatsachen drängt sich sicherlich jedem die Frage in den Mund, woher man wissen kann, dafs das Wasser, das im Brunnen oder einer gefafsten Quelle sich stets mit Mikroben vermengt zeigt, vor seinem Entquellen in den tieferen Bodenschichten doch keimfrei ist.

Mit Bezug auf diese Frage ist anzuführen, dafs die behufs Erforschung des Verhaltens der Mikroben im Boden unternommenen Versuche, deren Ergebnisse im zweiten Teile genau besprochen worden sind, mit Hilfe einer Methode angestellt wurden, bei welcher jede Beimengung anderer sekundärer Keime zu den anderen Schichten entnommenen Boden- oder Wasserproben vollkommen ausgeschlossen war, was ja — nebenbei gesagt — die Hauptbedingung exakter bakteriologischer Forschung bildet.

---

[1]) Es ist zu bemerken, dafs die Bakterienfurcht nicht so weit gehen darf, um die vollständige Keimfreiheit alles dessen, was z. B. in unseren Organismus gelangt, zu fordern. Wohin würden wir auch damit gelangen? Da dürfte man nicht essen, trinken, ja selbst nicht atmen. Denn ein grofser Teil der Nahrungsmittel, die für den Menschen eine vortreffliche Nahrung bilden, enthält Unmassen von Mikroben (z. B. Milch, Butter, Käse u. a.), die freilich unschädlich sind.

Um dies zu erzielen, benützte Fränkel[1]) einen besonderen zu diesem Zwecke konstruierten Bodenbohrer, der ein derartiges Entnehmen von Proben aus beliebigen Bodentiefen ermöglichte, dafs eine Verunreinigung durch Teile anderer vom Bohrer durchdrungener Schichten ausgeschlossen blieb. Zur Entnahme von Wasserproben benützte Fränkel die sog. eisernen Röhrenbrunnen, die vor der Wasserentnahme sterilisiert worden sind und welche ich erst im nachfolgenden Kapitel genauer besprechen werde.

Durch das eben Angeführte glaube ich die Erscheinung genügend klargelegt zu haben, warum alle Grundwässer bei der Untersuchung unter den gewöhnlichen Wasserentnahmeverhältnissen, Mikroben enthalten müssen.

Es wird nunmehr unsere Aufgabe sein, vor allem die Bedeutung der Mikrobenzahl und zwar besonders nach der Richtung hin zu besprechen, ob man überhaupt oder in welchem Mafse aus der Mikrobenzahl des Brunnenwassers auf einen richtigen oder unvollkommenen Filtrationseffekt der Schichten urteilen kann, durch welche die den Brunnen versorgenden Grundwässer gegen das Eindringen der in den von der Bodenoberfläche oder unreinen Orten durchsickernden Substanzen und Flüssigkeiten enthaltenen Mikroben geschützt sind.

Zu diesem Zwecke müssen wir die Faktoren, von welchen die Mikrobenmenge in den Brunnen abhängt, genauer kennen lernen.

In dieser Beziehung ist anzuführen, dafs in der Zeit nach vollendeter Tiefung und Ummäuerung des Brunnens,

[1]) Fränkel: Zeitschrift für Hygiene, Bd. II und VI.

die Mikrobenzahl infolge von Beimengung von Mikroorganismen enthaltenden Bestandteilen und der darauffolgenden Vermehrung derjenigen Arten, die hier günstige Bedingungen für ihr Wachstum vorfanden, auch in denjenigen Fällen, in welchen es sich thatsächlich um sterile wasserführende Schichten handelt, ungewöhnlich grofs sein kann.

So hatte ich Gelegenheit, mich zu überzeugen, dafs eine Zahl von 20, 30, 50 Tausend Mikroben in 1 ccm unter solchen Umständen nicht zu den Seltenheiten gehören, wiewohl die den Brunnen umgebenden wasserführenden Schichten keimfrei waren. Das unter solchen Verhältnissen geschöpfte Wasser erscheint natürlich sehr bedeutend getrübt.

Tritt jedoch der Brunnen nach völliger Fertigstellung in Thätigkeit und trachtet man gleichzeitig durch intensives Wasserschöpfen und daher rasche Entfernung des ersten getrübten Wassers den Ausflufs reinen, klaren Wassers zu erzielen, dann sinkt mit der abnehmenden Trübung — da gerade die die Trübung bewirkenden Teile zum Teil Sitz der Mikroben sind — gleichzeitig auch die Anzahl der letzteren sehr intensiv. Die Ursachen dieser Erscheinung sind nun ganz klar. Anstatt des von unzähligen Mikroben gesättigten Wassers drängt aus den umgebenden Schichten reines, keimfreies Wasser ein, durch welches der ursprüngliche getrübte, mikrobenreiche Brunneninhalt immer mehr verdünnt wird.

Es frägt sich nun, bis zu welchem Grade man das Absinken der Mikrobenzahl im Falle fortgesetzter Wasserentnahme bringen kann.

Mit Hinblick darauf, daſs, wie oben angeführt wurde, selbst das reinste hervorquellende Wasser gewissen Mikrobenarten, die infolge der Berührung mit nichtsterilen Substanzen (Lehmpartikel, Fassungsmauer, Luft etc.) in dasselbe geraten sind, Bedingungen zu dauernder Ansiedelung und Weitervermehrung bietet, ist klar, daſs die Zahl der Mikroben bei fortgesetzter Wasserentnahme eine veränderliche Gröſse darstellen wird, die sowohl von der Vermehrungsfähigkeit der im Brunnenwasser angesiedelten Mikroben[1]), als auch von dem Zuflusse des sterilen Wassers von den Seiten abhängen wird.

Würde man diese Verhältnisse durch eine Gleichung ausdrücken wollen, so würde dies durch die nachfolgende geschehen:

$$y = f\ (x, z),$$

wobei y die Mikrobenzahl, x den Wasserzufluſs, z die Vermehrungsfähigkeit der Mikroben bedeuten würde.

Eine charakteristische Eigenschaft dieser Funktion y ist darin gegeben, daſs bei wachsendem Zuflusse (x in der obigen Gleichung), d. h. bei wachsender Wasserentnahme, der Wert der Funktion sich Null nähern wird (der Zufluſs sterilen Wassers von den Seiten paralysiert die Wirkung der Mikrobenvermehrung), und freilich auch umgekehrt, daſs mit abnehmendem Werte des Zuflusses,

---

[1]) Die nachträglich infolge der Berührung mit Luft in den Brunnen geratenen Mikroben müssen nicht mit in die Rechnung gezogen werden, da dieser Faktor der Vermehrungsfähigkeit gegenüber gänzlich in den Hintergrund tritt, so daſs durch Nichtbeachtung desselben bei der Kalkulation kein groſser Fehler gemacht wird.

d. h. bei sinkender Wasserentnahme der Wert der Funktion anwachsen wird.

Auf Grund der obigen Erwägungen kann jedoch weiterhin geschlossen werden, dafs, wenn die wasserführenden Schichten der Brunnenumgebung wirklich steril sind und das Wasser aus dem (richtig hergestellten) Brunnen ohne Unterbrechung entnommen und schnell einigemale im Tage erneuert werden wird (wie es z. B. bei den das Grundwasser versorgenden Wasserwerksbrunnen geschieht), so dafs durch steten Zuflufs keimfreien Wassers aus den umgebenden Schichten die Vermehrung der im Brunnen angesiedelten Wassermikroben paralysiert wird, die Mikrobenzahl unter solchen Umständen sich Null nähern mufs, und dafs infolgedessen solche Wässer bei der bakteriologischen Untersuchung nahezu steril erscheinen werden.

Diese theoretische Schlufsfolgerung wird thatsächlich durch Erfahrung bestätigt. Die Keimzahlen, betreffend Wässer aus gut hergerichteten Brunnen mit keimfreien wasserführenden Schichten, aus denen das Wasser kontinuierlich geschöpft wird, sind thatsächlich sehr niedrig und nähern sich der Sterilitätsgrenze.

Als Beispiel möchte ich den nachfolgenden, meinen Erfahrungen, die ich bei der Gelegenheit der Beurteilung von Wässern als Trinkwässer gemacht habe, entnommenen Fall anführen.

Es handelt sich um einen Stollen, der in einen aus Sandstein (Kreideformation) bestehenden Abhang getrieben wurde. In denselben münden kleine Äderchen Grundwassers, die sich zu einer ziemlich starken Quelle

verbinden, welche durch eine Röhre in ein kleines, in der Nähe des Stollenausganges plaziertes Bassin einfliefst.

Die Sandschichten oberhalb des Stollens sind etwa 20 m hoch, im grofsen und ganzen kompakt und enthalten ziemlich vereinzelte vertikale Risse. An seiner Oberfläche ist der Sandstein von einer porösen Lehmschichte bedeckt. Die an die poröse Lehmschichte grenzenden Sandsteinschichten sind verwittert und bilden daher gleichfalls eine kompakte, poröse, von Rissen freie Formation.

Die unter solchen Umständen gefundene Mikrobenzahl in 1 ccm: 2.

Ist jedoch die Wasserentnahme langsam, so kann, besonders wenn die Wassersäule im Brunnen hoch steht, so dafs sie nur langsam durch das Grundwasser erneuert wird, die Keimmenge — auch wenn das den Brunnen nährende Grundwasser sterilen Schichten entstammt — ziemlich hoch sein: 500, 1000—2000 und mehr Keime in 1 ccm.

Wird überhaupt die Wasserentnahme aus dem Brunnen für einige Zeit sistiert, so kann die Keimzahl aufserordentlich grofs werden. Als Beispiel will ich einen Brunnen anführen, bei welchem dem Lokalaugenscheine gemäfs die wasserführenden Schichten zweifellos steril waren.

Das Wasser, das geschöpft wurde, nachdem der Brunnen einige Zeit vorher unthätig stehen belassen wurde, enthielt in 1 ccm 6028 Mikroben.

Nachdem dann durch intensives Schöpfen das Brunnenwasser gehörig erneuert worden war, enthielt

dasselbe[1]) 79 Mikroben in 1 ccm. Gleichzeitig mufs hervorgehoben werden, dafs Brunnen bei beginnender oder nach längerer Pause neu aufgenommener Thätigkeit manchmal ein selbst viele Tage währendes kontinuierliches Schöpfen erheischen, ehe der Einflufs der angehäuften und sich noch weiter vermehrenden Mikroben

---

[1]) Mit Hinblick auf die angeführten Prinzipe ist sicherlich leicht erklärlich, warum die in Flaschen verkauften Trinkwässer regelmäfsig eine grofse Menge Mikroben enthalten.

So wurden z. B. in einem destillierten Trinkwasser, das kurz nach der Ankunft aus dem Geschäftslokale untersucht wurde, 1520 Mikroben per 1 ccm nachgewiesen. Dasselbe enthielt bei einer 10 Tage nachher gemachten Untersuchung bereits ca. 20000 Mikroben in 1 ccm.

Es ist klar, dafs dieses Wasser nach durchgeführter Destillation (infolge des Kochens bei derselben) keimfrei war. Bei der Füllung kam dasselbe jedoch mit der Mikroben enthaltenden Luft in Berührung; weiterhin bleiben auch an den Flaschenwänden nach der Reinigung mit Wasser einzelne Keime übrig. Einzelne derselben finden selbst in einem destillierten Wasser, dem freilich des besseren Geschmackes wegen auch gewisse Salze beigesetzt werden, für ihr Wachstum und ihre Wucherung sehr günstige Bedingungen.

Da ja doch stets einige Tage vergehen, ehe das Wasser an die Konsumenten verkauft wird, so ist die Möglichkeit gegeben, dafs sich die betreffenden, im Anfange nicht zahlreichen Keime bedeutend vermehren.

Ähnlich verhält es sich auch mit den Mineralwässern. Auch diese können eine bedeutende Keimmenge enthalten. In einem Falle wurden z. B. im Giefshübler 1520 Keime in 1 ccm beobachtet.

Auch hier wird diese Zahl durch Vermehrung nach der Füllung herbeigeführt. Denn der Giefshübler nähert sich bei seiner Entquellung aus dem Boden sicherlich der Sterilität. Dafs auch eine derart erhöhte Keimzahl in destilliertem und Mineralwasser keinen Anstofs bildet, wäre mit Rücksicht auf das früher Angeführte unnötig nachzuweisen.

so herabgedrückt wird, dafs die Wasserproben dem sterilen Zustande nahe wären.

Mit Hinblick auf die bisher angeführten Prinzipe ist jedoch weiterhin ersichtlich, dafs in Fällen, in welchen man bei kontinuierlichem intensiven Wasserwechsel im Brunnen bei der bakteriologischen Untersuchung Werte, welche der Sterilität nahe wären, nicht zu erreichen imstande ist, der Rückschlufs gemacht werden kann, dafs es sich um Beimengen von unreinen entweder direkten oder durch ungenügende Filtrationsfähigkeit des Bodens bedingten Zuflüssen handelt.

Ein hübscher Beweis dieses ist in meinem »Interessanten Fall von Trinkwasserbeurteilung[1])« enthalten. In diesem Falle schwankte die Mikrobenzahl bei kontinuierlicher Wasserschöpfung (es wird eine Tagesmenge von circa 12 000 Hektolitern erreicht) und zwar unter Umständen, bei denen das Wasser seine Klarheit und Frische bewahrte, zwischen 300—600 in 1 ccm.

Bei der chemischen Untersuchung wurde salpetrige Säure gefunden, bei dem Lokalaugenscheine konstatiert, dafs die Sohle eines in geringer Entfernung vom Brunnen verlaufenden Kanales, der die Richtung der zum Wasserwerksbrunnen fliefsenden unterirdischen Wässer kreuzte, sich in unmittelbarer Nähe des Grundwasserniveaus befand.

In ähnlicher Weise nimmt auch das Quellwasser, selbst wenn es sterilen, keimfreien Bodenschichten ent-

---

[1]) Monatsschrift für öffentl. Gesundheitspflege 1898.

stammt, indem es bei seinem Hervorquellen auf die Oberfläche mit den stets Mikroorganismen enthaltenden oberen Bodenschichten in Berührung tritt, bei seinem Durchgange durch dieselben Mikroben auf, die unter den hier herrschenden Verhältnissen alle Bedingungen für ihr Wachstum und ihre Wucherung vorfinden, und so das Wasser um seine ursprüngliche Sterilität bringen. Desgleichen bedingt auch der Durchtritt des Wassers durch den Becken, mit welchem jede Quelle mehr oder minder versehen ist, eine Bereicherung durch gewisse Mikroorganismen (ähnlich wie bei den Brunnen).

Da jedoch bei den Quellen das Wasser ohne Unterbrechung abfliefst, so kann der Schlufs gezogen werden, dafs sich die Keimmenge analog verhalten wird wie im Wasser von Brunnen, die intensiv abgeschöpft werden, d. h. dafs sich dieselbe in dem Falle, dafs der Zuflufs des unterirdischen Wassers aus keimfreien Schichten geschieht, der Sterilität nahen Werten nähern wird.

Die darauf bezüglichen Forschungen bestätigen dies thatsächlich. Als Beispiel möchte ich aus meinen Erfahrungen eine Quelle anführen, die unter einem zur Höhe von 10—15 m aufsteigenden Abhange hervorquillt. An der Quelle war durch Vertiefung des Bodens und Bedeckung mit einer Steinplatte ein kleiner, höchst primitiver Brunnen hergestellt.

Das den unterirdischen Brunnen nährende Wasser war in geringer Entfernung infolge rapiden Anstieges des Abhanges durch eine mächtige (etwa 15 m starke) Schichte Ziegelerde bedeckt, auf der eine Schichte Ackerboden lag. Das oben befindliche Plateau, welches das

Wassergebiet nicht nur für das beschriebene Brünnlein, sondern auch für andere an dem Fuſse des erwähnten Hanges hervorbrechende Quellen bildet, ist mit Äckern bedeckt, die von menschlichen Wohnungen völlig frei sind.

Die Keimzahl in diesem Falle in 1 ccm: 27.

Das nachfolgend anzuführende Beispiel ist deshalb lehrreich, weil es zeigt, daſs — obwohl es sich um ein im ganzen aus ziemlich oberflächlichen Schichten stammendes Wasser handelte — das aus ihnen hervorquellende Quellwasser fast steril war.

Die Terrainbeschaffenheit ist in diesem Falle dadurch charakterisiert, daſs es sich um bewaldetes Terrain handelte, das an der Oberfläche von einer 1—1½ m starken porösen Bodenschichte bedeckt ist, unterhalb der sich Lette befindet, die stellenweise auch an die Oberfläche dringt. Mehrere Quellen finden sich an verschiedenen Stellen vor.

Eine gröſsere, in ein kleines brunnenartiges Bassin aufgefangene Quelle enthielt in einer am Ausflusse aus dem Bassin entnommenen Probe in 1 ccm: 22.

Es ist nunmehr an der Zeit, die Mikrobenarten, welche für die hygienische Beurteilung von Trinkwässern wichtig sind, zu besprechen.

Hier kommen freilich vor allem jene pathogenen Keime in Betracht, welche durch Vermittlung des Trinkwassers mit den Verdauungsorganen des Menschen in Berührung kommen und daselbst unter gewissen Verhältnissen die für ihre Wucherung und ihr Wachstum notwendigen Bedingungen vorfinden und so zur Entstehung gewisser Infektionskrankheiten führen, von welchen

an erster Stelle Typhus abdominalis und Cholera zu nennen sind.

Ebenso wie ich im ersten Teile Belege dafür gebracht habe, daſs die Benützung von verunreinigten Oberflächenwässern im Haushalte auf die Verbreitung der Cholera und des Typhus Einfluſs hat, will ich auch in Bezug auf die unterirdischen (Brunnen- oder Quellwässer) Beobachtungen anführen, welche den Zusammenhang der erwähnten Krankheiten mit dem Genusse der betreffenden Wässer beweisen.

In dieser Beziehung ist das Verhalten des Abdominaltyphus in Wien nach der Errichtung der Wasserleitung, vermittels welcher man (aus einer Entfernung von etwa 100 Kilometern) aus den Alpen Wasser von vortrefflicher Qualität zuzuführen begann, sehr lehrreich.

Zu diesem Zwecke werden wir die Zahlen der im Allgemeinen Krankenhaus in Wien gepflegten Typhuskranken[1]) und zwar 10 Jahre vor und nach der Eröffnung der Wasserleitung verfolgen.

Während der 10 Jahre vor der Einführung des Trinkwassers wurden in jener Anstalt im ganzen 6850 Typhuskranke behandelt. Es entfallen demnach 685 Fälle auf je ein Jahr. Das Minimum mit 250 Fällen trat im Jahre 1864 auf, das Maximum, 1530 Fälle, wurde im Jahre 1871 erreicht.

Im Jahre 1873, in welchem der Bau der Wasserleitung vollendet wurde, sind im Allgem. Krankenhause 700 Personen an Typhus behandelt worden.

---

[1]) Citiert nach Stricker: Vorlesungen über allg. u. experimentelle Pathologie. Wien 1883.

In den 10 Jahren nach der Einführung des Trinkwassers aus dem Gebirge wurden im ganzen 2890 Typhuskranke behandelt, somit im Durchschnitte 289 jährlich. Es ist demnach die Zahl der Typhuskranken in diesem Jahrzehnte auf 42.3 % der im Jahrzehnte vor der Errichtung der Wasserleitung erreichten Zahl herabgesunken.

Doch selbst durch diese prozentuelle Verminderung ist der eigentliche Stand der Dinge noch nicht vollkommen ausgedrückt.

Man mufs sich nämlich vor die Augen halten, dafs in das allgemeine Krankenhaus auch Kranke aus den Vororten (die damals ungefähr 1/3 der Bewohner ausgemacht haben) aufgenommen worden sind, obwohl die Einführung des Trinkwassers aus dem Gebirge in die Vororte erst allmählich im Laufe einiger Jahre durchgeführt wurde.

Wird auf diesen Umstand Rücksicht genommen und die Zahl der Typhuskranken in den ersten Jahren 1873—1877, in welchen die Vororte das gute Trinkwasser entbehrt haben, mit derjenigen der Jahre 1878 bis 1883 verglichen, so erhält man Zahlen, die einen noch günstigeren Einflufs beweisen, als die die procentuelle Verminderung der Krankheit ausdrückende oben angeführte Zahl.

Vom Jahre 1873 bis inkl. zum Jahre 1877 1840 Kranke
» » 1878 » » » » 1883 1056 »

Im Jahre 1883 nur 180 Fälle,
» Jahre 1884 » 96 »

In den Jahren von 1878—1883 entfallen somit 176 Typhuskranke auf 1 Jahr.

Der Typhus sank daher auf 25.4% des ursprünglichen, im Jahrzehnte vor der Einführung der Wasserleitung festgestellten Wertes herab.

Ein anderes sehr schönes diesfälliges Beispiel, das in der einschlägigen Literatur gewöhnlich angeführt wird, bildet die 1871 im Waisenhause zu Halle ausgebrochene Typhusepidemie, die von Dr. Zuckschwerdt[1]) genau beschrieben worden ist.

Es ist vor allem zu bemerken, daſs das Waisenhaus, welches seine eigene Wasserleitung mit gutem Trinkwasser besaſs, während sechs Cholera- und acht Typhusepidemien, von welchen Halle im Laufe von 50 Jahren besucht worden ist, verschont blieb.

Da brach auf einmal im Jahre 1871 in demselben eine starke Abdominaltyphusepidemie aus, die nur auf diese Anstalt beschränkt blieb. Es ist konstatiert worden, daſs von den 430 in der Anstalt befindlichen Zöglingen 222 erkrankt sind; von den 264 Lehrern und Beamten erkranten 57 Personen.

Auſserdem haben das Waisenhaus 3000 in der Stadt wohnende Zöglinge besucht, von denen 77 von Typhus befallen wurden.

Es erkrankten daher von den Bewohnern des Waisenhauses 39.8%, von den Besuchern desselben nur 2.5%.

Des weiteren ist festgestellt worden, daſs nur diejenigen Personen erkrankt sind, die Wasser aus dem sogen. »Oberstollen« getrunken haben. Auſser diesem besaſs nämlich das Waisenhaus noch eine zweite Wasser-

---

[1]) Citiert nach Stricker: Vorles. über allg. u. experim. Pathol. und nach Sander: Lehrb. d. Hygiene.

leitung, den »Unterstollen«. Alle, die das Wasser der letzteren getrunken haben, sind gesund geblieben.

Endlich ist nachgewiesen worden, dafs das Wasserleitungswasser, das sonst ganz klar und rein war, zur Zeit des Ausbruches der Epidemie trüb war. Die chemische Untersuchung ergab Verunreinigung durch organische Stoffe. Eine Untersuchung des Wasserleitungsnetzes ergab, dafs die Röhrenleitung an einer Stelle beschädigt war, wodurch sich die Möglichkeit einer Beimengung von Flüssigkeit aus einem durch Exkremente und Kehricht verunreinigten Graben ergab.

Auch in neuerer Zeit, wo bereits die Möglichkeit der Anwendung der bakteriologischen Untersuchung gegeben war, sind einzelne Typhusepidemien beobachtet worden, während welcher der Typhusbacillus in dem von den erkrankten Personen zum Trinken benützten Wasser nachgewiesen wurde.

Eine solche Typhusepidemie ist z. B. in der Klosterneuburger Pionierkaserne ausgebrochen, die von Kowalski[1]) beobachtet und beschrieben wurde.

In jener Kaserne brach Mitte Mai 1886 Abdominaltyphus aus. Von 600 Soldaten wurden 321 Mann von dieser Krankheit befallen. Bei der bakteriologischen Untersuchung des Trinkwassers sind Typhusbacillen nachgewiesen worden.

Gleichzeitig ist jedoch hervorzuheben, dafs in vielen Fällen von Typhusepidemien der Nachweis von Typhusbacillen in dem verdächtigen Trinkwasser selbst

[1]) Kovalski: Bericht über den VI. internat. Kongrefs für Hygiene in Wien, cit. nach Uffelmann: Lehrbuch der Hygiene, S. 598.

Autoren, welche die betreffenden Kultivierungsmethoden vollkommen beherrschen, nicht gelungen ist.

Die Ursachen solcher negativer Ergebnisse sind verschieden. So müssen vor allem die Typhusbacillen zu der Zeit, in welcher die bakteriologische Untersuchung vorgenommen wird, in dem betreffenden Wasser infolge Absterbens nicht mehr vorhanden sein. Man muſs sich eben vergegenwärtigen, daſs solche Untersuchungen zum Teile erst dann vorgenommen werden, wenn in einem bestimmten abgegrenzten Bezirke bereits mehrere Typhusfälle vorgekommen sind, so daſs von dem Augenblicke, in welchem es infolge des Genusses des betreffenden Wassers zum Ausbruche der Krankheit kam, bereits die beträchtliche Zeit von 2 bis 3 Wochen vergangen sein kann, zum Teile auch, weil die Typhusbacillen — wie ich später noch genauer darlegen werde — in den Brunnen-, Quell- und Oberflächenwässern nicht die für ihre Erhaltung notwendigen Bedingungen vorfinden und daher nach einiger Zeit aussterben.

Weiterhin sind auch die bakteriologischen Methoden, die zur Isolation des Typhusbacillus aus dem Wasser, in welchen denselben zahlreiche andere Mikrobenarten zu begleiten pflegen, dienen, noch nicht so vollkommen, um in jedem Falle, in welchem sich derselbe in solch gemischter Gesellschaft befindet, volle Bürgschaft für die Kultivierung desselben zu bieten.

Infolge bestimmter Mängel der betreffenden Methoden — die an diesem Orte nicht weiter besprochen werden können — hängt es dann in vieler Hinsicht vom

Zufalle ab (welche Mikrobenarten gleichzeitig mit dem Typhusbacillus im Wasser vorhanden sind und weiterhin, in welcher Menge jene und dieser vertreten ist), ob die Isolation des Typhusbacillus gelingt oder nicht.

Eher gelingt es, wie allgemein anerkannt wird, bei solchen, die Isolation des Typhusbacillus bezweckenden Untersuchungen, einen anderen, dem Typhusbacillus in vieler Hinsicht sehr ähnlichen Mikroben zu konstatieren, und zwar das sog. Bacterium coli commune, einen normalen Bewohner des Verdauungskanales und daher auch der menschlichen und tierischen Exkremente, dessen Bedeutung noch am Ende dieses Absatzes wird besprochen werden.

Endlich mufs darauf geachtet werden, dafs die Typhusepidemien aufser mit dem Trinkwasser auch noch mit anderen und zwar zeitlich-örtlichen Faktoren zusammenhängen können (die lokalistische Theorie von Pettenkofer.)

Nunmehr mufs ich die Frage berühren, wie lange die Typhusbacillen im Brunnen- oder Quellwasser, in das sie entweder direkt oder indirekt aus dem kranken menschlichen Körper geraten sind, sich lebend erhalten können.

Um dies zu entscheiden, sind viele experimentelle Studien unternommen worden, bei welchen Typhusbacillenkulturen teils verschiedenen sterilisierten, teils nichtsterilisierten Wässern, zum Teile auch unbenützten Brunnen beigesetzt wurden, und beobachtet wurde, wie lange dieselben in ihnen noch nachgewiesen werden konnten.

Es ergab sich dabei, dafs die Typhusbacillen, in Brunnen-, Quellen- oder Oberflächenwässer gebracht, unter natürlichen Verhältnissen meistenteils im Laufe von etwa 14 Tagen aussterben, wenn nicht etwa besondere ihr Wachstum fördernde Bedingungen (Nährstoffe) vorhanden sind.[1])

Zur Erklärung dieses sei darauf hingewiesen, dafs der Typhusbacillus, welcher als parasitischer Mikrobe an die im menschlichen Körper herrschenden Bedingungen accommodiert ist, aufserhalb des menschlichen Körpers, also z. B. im Wasser, mit für ihn ungünstigen Bedingungen (als niedriger Temperatur, der mikrobentötenden Lichtwirkung, Mangel an Nährsubstanzen, Konkurrenz mit anderen im Wasser angesiedelten Mikroben, welche daher an die hier vorhandenen Bedingungen accommodiert sind etc.) zu kämpfen hat und daher regelmäfsig den ungünstigen Einflüssen unterliegt.

Nunmehr komme ich zu dem Befunde und Nachweise des Choleravibrios im Wasser und zu der Frage des Einflusses der Quell- und Brunnenwässer als Trinkwässer auf die Verbreitung der Cholera.

In dieser Beziehung sei vor allem darauf hingewiesen, dafs in Calcutta, das sich in dem Heimatlande[2]) der Cholera befindet, dieselbe nach Herstellung der Trinkwasserleitung im Jahre 1870 auf $^1/_3$ ihrer ursprünglichen Höhe herabgesunken ist. Die Besserung betraf ausschliefslich nur jene Stadtteile, in welchen das Wasser-

[1]) Vergleiche Löffler: Wasserversorgung (Weyls Handbuch der Hygiene) S. 681.

[2]) Vergl. Löffler, l. c. S. 621.

leitungsnetz gelegt war. In den Vororten, deren Bewohner ihr Wasser auch weiterhin den der Verunreinigung zugänglichen »Tanks« entnahmen, trat keine Besserung der sanitären Zustände ein.

Ein anderes typisches Beispiel für die Entstehung der Cholera in dem oben angedeuteten Sinne bildet die Choleraepidemie in Barth vom Jahre 1850 (beschrieben von Zaeske[1]), bei welcher ein Teil der Stadt völlig von derselben verschont blieb, während die übrigen fast in jedem Hause einen Cholerafall aufwiesen.

Bei Nachforschung der Ursachen ergab sich das Nachfolgende:

Das Quellwasserleitungsnetz teilte sich am Eintritte in die Stadt in zwei Teile. Der eine von diesen Ästen war an einer Stelle beschädigt und an dieser drangen die Abwässer einer in der Nähe befindlichen Nachtherberge in denselben ein. In der Herberge trat vor dem Ausbruche der Epidemie in der Stadt ein Cholerafall auf.

Der betroffene Stadtteil befand sich nun in dem Distrikte der beschädigten Röhrenleitung.

Was den Nachweis des Choleravibrios in Trinkwässern betrifft, so ist zu bemerken, dafs derselbe in neuerer Zeit, und zwar besonders im Laufe der letzten Choleraepidemie in Europa, in zahlreichen Fällen geliefert worden ist. Dies ist auf Grund des von Koch inaugurierten sog. Peptonverfahrens möglich, vermittelst dessen der Choleravibrio auch in stark verunreinigten, und zahlreiche andere Mikroben enthaltenden Wässern, selbst

---

[1]) Vergl. Löffler, l. c. S. 622.

wenn er in geringer Menge vorhanden ist, nachgewiesen werden kann.

Mit Hilfe dieser Methode konnte Koch während der letzten Epidemie in Hamburg die Choleramikroben in Wässern verschiedener Provenienz feststellen.

Was das Verhalten des Choleravibrios im Wasser betrifft, so ist wiederum schon auf Grund theoretischer Erwägungen dafürzuhalten, dafs derselbe als parasitischer und daher an die Verhältnisse des menschlichen Verdauungskanales accommodierter Mikrobe in andere Verhältnisse geraten, also z. B. aufserhalb des menschlichen Körpers (im Wasser, Boden etc.) ebenso wie der Typhusbacillus nicht überall die ihm zusagenden Bedingungen antrifft, sondern eher infolge der veränderten Temperatur-, Nährsubstanzen-Verhältnisse, sowie der Konkurrenz mit anderen, an die Verhältnisse der betreffenden Medien accommodierten Mikroben abstirbt.

Die Experimente, bei welchen das Verhalten der Choleravibrionen, die in Wässer verschiedener Qualität unter den verschiedensten Bedingungen gebracht wurden, geprüft wurde und welche in aufserordentlich zahlreicher Menge angestellt worden sind, beweisen dies.

Diese Versuche beweisen im allgemeinen, dafs die Choleravibrionen im Wasser, je nach dessen Zusammensetzung, manchmal schon in 24 Stunden, jedoch auch erst nach einigen Tagen, Wochen und Monaten absterben. In einzelnen Fällen, in welchen die Temperatur- und Nährverhältnisse günstig sind, können sie sich sogar vermehren.[1])

[1]) Vergl. Löffler, l. c. S. 676.

Endlich mufs ich auch noch die Bedeutung der sog. Fäulnisbakterien im Wasser besprechen.

Von diesen wird in den Trinkwässern das Bacterium coli commune am häufigsten vorgefunden.

Dieser Mikrobe ist freilich ein normaler Bewohner der menschlichen Exkremente. Man mufs jedoch stets im Auge behalten, dafs derselbe nach Kruse[1]) in der Natur überhaupt (also auch aufserhalb der Exkremente) bedeutend verbreitet ist.

Daraus geht hervor, dafs der einfache Befund desselben in Brunnen- und Quellwässern noch keinen sicheren Beweis für die Beimengung von Faecesbestandteilen zum Wasser infolge direkter unreiner Zuflüsse oder infolge ungenügender Filtrationsfähigkeit des Bodens bildet.

Infolgedessen kann der Befund dieses Mikroben erst im Zusammenhange mit anderen Thatsachen, die auf Beimengung von Faecesbestandteilen hinweisen, besonders mit den Ergebnissen der Lokaluntersuchung bestimmt gedeutet und für die Beurteilung des Wassers ausgenützt werden.

Was die weitere Bedeutung der Fäulnismikroben, besonders jener, die Exkrementen entstammen, betrifft, so ist anzuführen, dafs Trinkwässer, zu welchen diese Zutritt haben, eine Erhöhung der peristaltischen Bewegungen herbeiführen können, und zu gewissen Zeiten (besonders im Sommer) bei empfindlichen Personen, und zwar hauptsächlich bei jenen, die ein solches Wasser zum erstenmale trinken, Diarrhöen hervorrufen.

---

[1]) Zeitschr. f. Hygiene Bd. XVII.

In dieser Hinsicht ist mir ein Fall bekannt, in welchem mir von Ärzten auf Grund mehrjähriger Beobachtungen ein solcher Einflufs des Trinkwassers, das ich beurteilen sollte und von dem ich durch lokale, chemische und bakteriologische Untersuchung das Beimengen eines ähnlichen Inhaltes nachweisen konnte, mit aller Bestimmtheit beschrieben und behauptet wurde, und zwar besonders auf Grund von Erfahrungen, die sie selbst betrafen.

Ob das Trinkwasser aufser bei Typhus und Cholera auch bei anderen Infektionskrankheiten, z. B. bei Dysenterie, gelbem Fieber, Bubonenpest, Milzbrand, das Virus übertragende Medium vorstellt, darüber haben wir noch zu wenig Erfahrungen.

V. Kapitel.

Die an die Trinkwässer gestellten Anforderungen und die Aufgaben der diesbezüglichen Untersuchungen.

An ein gutes Trinkwasser werden die nachfolgenden Anforderungen gestellt:

1. Das Trinkwasser darf nicht durch seine äufsere Beschaffenheit ekelerregend wirken.

Um dieser Anforderung zu genügen, mufs das Wasser vollkommen farblos, von jeder Trübung und jedweden schwimmenden Bestandteilen vollkommen frei und somit krystallrein und gänzlich geruchlos sein.

Der Ekel gegen stinkende oder getrübte (suspendierte schwimmende Bestandteile enthaltende) Wässer ist ein dem Menschen angeborener Instinkt, der ihn vor dem Genusse von Wässern solcher Qualität warnt. Die Richtigkeit dieses instinktiven Widerstandes ist mit Hinsicht auf das früher Angeführte klar.

Denn die Trübung und der Geruch ist in einzelnen Fällen Folge von Beimischung direkter unreiner Zuflüsse oder von ungenügender Filtration und Absorption im

Boden, in welch beiden Fällen, wie oben gezeigt wurde, die Möglichkeit einer schädlichen Wirkung auf die menschliche Gesundheit gegeben ist.

Die Reinheitsprobe wird am besten in der Weise ausgeführt, dafs das zu untersuchende Wasser in ein grofses, etwa 10 l fassendes, aus farblosem Glas gefertigtes Gefäfs, das freilich vor der Anwendung gehörig gereinigt und ausgespült werden mufs, gegossen wird. Da sich das Wasser unter solchen Verhältnissen dem Auge in starken Schichten zeigt, so tritt jede, auch die geringste Trübung ganz klar und deutlich hervor, die sonst in einem kleinen Gefäfs, z. B. in einem Trinkglase, der Beobachtung entgehen könnte. Im Falle, dafs eine Trübung sich zeigen würde, so kann deren eigentlicher Charakter, wie oben dargelegt wurde, mit Hilfe der mikroskopischen Untersuchung des durch Sedimentation oder Centrifugieren erhaltenen Bodensatzes festgestellt werden.

2. Das Trinkwasser soll das ganze Jahr hindurch eine gebührende angemessene Kälte besitzen, die gegeben ist, wenn sich die Temperatur desselben zwischen 7—11° C. erhält.

Die Forderung der Kälte geht aus dem Umstande hervor, dafs der menschliche Organismus zu gewissen Zeiten durch Trinken nicht nur den Ersatz des aus dem Körper (durch die Schweifsdrüsen, Nieren, Lunge) ausgeschiedenen Wassers, sondern auch Labung und Erfrischung zu erzielen sucht, die jedoch nur Wasser von einer gewissen Kälte bieten kann.

Die beste Bürgschaft einer gleichmäfsigen, nicht viel herabsinkenden Kälte bei Quell- und Brunnenwässern ist

durch den Umstand gegeben, wenn das Niveau der betreffenden Grundwässer durch stärkere Bodenschichten gedeckt ist.

3. Das Trinkwasser soll einen guten, angenehmen Geschmack haben.

Mit Bezug auf die Forderung des guten angenehmen Geschmackes ist anzuführen, dafs Trinkwässer, die unangenehme Geschmacksempfindungen hervorrufen, auch einen instinktiven Widerstand, ebenso wie unreine und getrübte Wässer, herbeiführen, dessen Berechtigung auch in diesem Falle völlig klar ist.

Soll der Geschmack eines Wassers richtig gewürdigt werden, so empfiehlt es sich, dasselbe nicht nur im Zustande der normalen Kälte, sondern auch etwas erwärmt zu verkosten. Denn auch Wässer von schlechtem Geschmacke rufen keine unangenehmen Geschmacksempfindungen hervor, wenn sie angemessen abgekühlt werden. Das Verhalten ist etwa ähnlich wie das des Bieres. Schlechtes Bier von nicht gutem Geschmacke, das in etwas erwärmtem Zustande wohl ein jeder von sich weisen würde, wird ohne Einwand getrunken, sobald es genügend abgekühlt serviert wird. Aus demselben Grunde werden im Winter vielfach, besonders durch niedere Volksklassen, Flufswässer getrunken, während sie im Sommer ihres unangenehmen Geschmackes wegen niemand in den Mund nehmen würde.

Der Grund dieser Erscheinungen ist darin zu suchen, dafs durch die niedrige Temperatur des Getränkes zugleich auch die Empfindlichkeit der Geschmacksnerven herabgesetzt wird.

Unter die Stoffe, welche, in gröſserer Menge vorhanden, am häufigsten den schlechten Geschmack der Wässer bedingen, gehören besonders auch jene ausgelaugten Stoffe, die ihren Ursprung in der Imprägnation der Bodenschichten durch menschliche Abfallstoffe haben, wie dies besonders häufig bei den Brunnenwässern stark bevölkerter Städte in Erscheinung tritt.

Daſs in solchen Fällen die Brunnenwässer bei der chemischen Analyse 200, 500, 1000 mg Salpetersäure (in Form salpetersaurer Salze), 100, 500 und mehr mg Chlor enthalten, ist ein nicht selten beobachtetes Faktum (siehe Tabelle S. 78).

4. Die Härte der Trinkwässer soll gewisse Grenzen nicht übersteigen.

Bei Wässern, die nur als Trinkwässer benützt werden, sind mit Hinblick auf das in einem früheren Absatze Angeführte, als annähernde Grenze 50 deutsche Härtegrade anzusehen.[1])

Soll jedoch ein derartiges Wasser zugleich als Nutzwasser dienen und besonders zu Industriezwecken verwendet werden, so bilden 20 deutsche Härtegrade die höchste zulässige Grenze.

Was die Feststellung der Härte anlangt, so besitzen wir so exakte und vollkommene chemische Methoden, daſs sie besser nicht gewünscht werden können.

5. Das Trinkwasser darf keine schädliche oder giftige chemische Verbindungen enthalten, die im menschlichen Organismus Störungen hervorrufen könnten.

---

[1]) Vergl. Löffler: Die Beurteilung des Trinkwassers (Weyl, Handbuch d. Hygiene I, S. 771.)

Mit Bezug auf diese Forderung sei das Nachfolgende angeführt:

Die Quell- oder Grund- (und freilich auch Oberflächen-) Wässer enthalten in der Regel keine solchen chemischen giftigen Verbindungen, deren Eindringen in den Verdauungskanal des Menschen irgendwelche Störungen des Organismus zur Folge hätte. Eine Ausnahme bilden die Mineralwässer, von denen einzelne chemische Verbindungen enthalten, die, in unangemessenen Dosen in den menschlichen Organismus gebracht, eine Erkrankung desselben herbeizuführen im stande wären. Im sonstigen gehören jedoch solche Wässer, in gewissen Spezialfällen unter ärztlicher Kontrolle angewendet, bekanntlich zu den besten Heilmitteln.

Des weiteren sind in einzelnen, freilich sehr seltenen Fällen in Brunnenwässern giftige Stoffe gefunden worden, die Industrie-Abfallstoffen entstammen, welche, in nicht undurchdringlichen Sammelstätten gehalten, in den Boden eindringen und so dem Grundwasser sich beimischen.

Ein derartiger Fall ist oben erwähnt worden (S. 15).

Nimmt man also auf praktische Erfahrungen Rücksicht, so bezieht sich die oben angeführte Forderung eigentlich nur auf die Beimischung von Blei in Fällen, in welchen zur Installation von Wasserleitungen in Häusern bleierne Röhren verwendet worden sind, wie dies in einem der vorhergehenden Absätze besprochen wurde.

6. Das Trinkwasser mufs von jedweden pathogenen Organismen frei sein.

Auf den ersten Blick könnte es scheinen, dafs die Entscheidung, ob ein Wasser dieser Anforderung genügt,

keine besonderen Schwierigkeiten bieten kann und dafs sie ebenso leicht wie bei den früher angeführten Anforderungen mit Hilfe geeigneter Methoden erreicht werden kann.

Dieser Annahme gegenüber mufs gleich von vornherein hervorgehoben werden, dafs die Wasserbeurteilung eben in diesem Teile den heikelsten und unter gewissen Verhältnissen sehr schwierigen Punkt der Begutachtung bildet.

Die Schwierigkeit der Lösung ist dadurch bedingt, dafs die pathogenen Keime — deren Ursprung im Wasser, wie oben dargelegt wurde, von den menschlichen Exkrementen und Sekreten abzuleiten ist, die entweder direkt in die Quellen oder Brunnen fliefsen oder auf Grund ungenügender Bodenfiltration in dieselben eindringen — in den betreffenden Wässern nicht immer, sondern nur zu bestimmten Zeiten zugegen sind.

Daraus geht dann hervor, dafs man mit der Thatsache rechnen mufs, dafs die pathogenen Keime zu dem Zeitpunkte, in welchem die Untersuchung und Entnahme der Probe vorgenommen wird, nicht zugegen zu sein brauchen.

Infolgedessen berechtigt, selbst wenn man auf die im vorhergehenden Kapitel erwähnten Mängel der Untersuchungsmethoden keine Rücksicht nimmt, das Nichtauffinden von pathogenen Organismen in der zur Untersuchung, und sei es auch auf die skrupulöseste Weise, genommenen Probe noch in keiner Weise zu dem Schlusse der Anstandslosigkeit in der angeführten Richtung.

Wenn nun auch das Nachforschen nach den pathogenen Organismen selbst im Sinne der gestellten Frage in der Regel nicht zum Ziele führt, so ist doch die Urteilsbildung in dieser Richtung heutzutage, wo mit Hilfe der bakteriologischen Methoden das Wesen der Infektionskrankheiten, die Eigenschaften der pathogenen und nichtpathogenen Mikroben, sowie deren Verhalten unter verschiedenen Verhältnissen, besonders im Boden und Wasser, erforscht worden ist, nicht nur erleichtert, sondern sogar auf eine ganz verläfsliche Basis gestellt worden.

Es ist jedoch gleichzeitig hervorzuheben, dafs mit der Auffindung dieser festen Basis auch der bis zu dieser Zeit übliche Modus der Wasserbeurteilung, bei welchem aufser der chemischen Analyse alles, selbst die Lokaluntersuchung, bei Seite gelassen wurde, so dafs das Gutachten ausschliefslich auf dem chemischen Befunde basierte, gefallen ist.

Ich will diese Art der Trinkwasserbeurteilung, trotzdem sie in der hygienischen Wissenschaft einen längst überwundenen Standpunkt bildet, genauer erwähnen und dies aus dem Grunde, weil wir derselben in der Praxis jeden Augenblick begegnen, indem wir Gutachten zu lesen bekommen, in welchen blofs auf Grund der chemischen Analyse ein Wasser für infektiös oder gesund erklärt oder gar auf Grund einer solchen Analyse mit dem Wasser irgend einer anerkannt vortrefflichen Wasserleitung verglichen wird (!!!), was augenscheinlich ein noch gröfserer Unsinn ist.

Mit Hinblick darauf erscheint es nicht nur nützlich, sondern sogar höchst notwendig, auf die Nichtigkeit

und Unhaltbarkeit der bei solcher Art der Begutachtung gezogenen Schlufsfolgerungen hinzuweisen.

Zu diesem Zwecke haben wir vor allem die Frage zu besprechen, welche Ansichten über den Ursprung der Infektionskrankheiten geherrscht haben, bevor die Frage der Infektionskrankheiten mit Hilfe exakter bakteriologischer Methoden aus der Ära vorwiegend theoretischer Erwägungen auf das Gebiet exakter experimenteller Forschung übertragen worden ist.

Zu jener Zeit nahm man an, dafs für Infektionskrankheiten günstige Bedingungen daselbst gegeben sind, wo organische, fermentativer Zersetzung unterliegende Stoffe angehäuft sind. Eine direkte Folgerung dieser Ansicht war freilich der Schlufs, dafs durch Entfernung solcher unreiner, organischer, in Zersetzung befindlicher Stoffe der Ausbruch von Infektionskrankheiten verhütet werden kann.

Im Sinne dieser Ansichten hat man weiterhin vorausgesetzt, dafs überall, wo sich organische, fermentativer, besonders jedoch zur Fäulnis führender Zersetzung unterliegende Stoffe befinden, zugleich auch die Bedingungen zur Entstehung der Infektionsviruse gegeben sind.

Was den eigentlichen Charakter des infektiösen Virus betrifft, so waren die Ansichten natürlicherweise sehr unklar. Die einen nahmen an, dafs es gewisse chemische Produkte sind, die bei der fermentativen Zersetzung organischer Stoffe entstehen, die anderen, dafs unter solchen Verhältnissen pathogene Organismen (Mikroben) entstehen oder sich vermehren, deren Eindringen in den menschlichen Körper gewisse spezifische Krankheiten bedingen sollte.

Diese, hauptsächlich auf Grund theoretischer Erwägungen entstandene Theorie, die gewisse Erfahrungen über das Verhalten der Infektionskrankheiten in grofsen Städten zur Basis hatte, fand wahrscheinlich aus dem Grunde, weil keine bessere vorhanden war, zahlreiche Anhänger.

Mit Hinblick darauf hat sich das Hauptaugenmerk dem Auffinden von unreinen organischen, der fermentativen Zersetzung unterliegenden Substanzen zugewendet. Es ist weiterhin ersichtlich, dafs zur Feststellung des Grades der Verunreinigung durch solche unreine Stoffe auch Methoden notwendig waren, mit Hilfe welcher diese Stoffe quantitativ bestimmt werden könnten. Infolgedessen kam die Frage der Untersuchung der Bedingungen der Infektionskrankheiten in die Hände der Chemiker, die dann Methoden ausgearbeitet haben, durch welche selbst die geringste Quantität von organischen Substanzen oder deren Zersetzungsprodukten bestimmt werden konnte.

Bei Nachforschung nach zersetzungsfähigen Abfallstoffen hat man weiterhin gefunden, dafs die Brunnenwässer stark bevölkerter Orte, also besonders Städte, verschiedene Verbindungen enthielten, deren Ursprung hauptsächlich von unreinen Abfallstoffen, die von in den Boden eindringenden und denselben imprägnierenden Abfallstoffen stammen, abgeleitet werden mufste.

Durch chemische Analyse wurden diese Stoffe in Form von organischen Substanzen, Sauerstoffverbrauch, albuminoiden Ammoniaks, salpetriger und Salpetersäure, Chlor, Schwefelsäure aufgefunden.

Gleichzeitig mit der Ausbildung der eben angeführten Anschauungen und Methoden wurden auf Grund genauer Beobachtung einzelner, besonders Typhus- und Choleraepidemien, die Beweise für die Ansicht, dafs die betreffenden Krankheiten durch das Trinkwasser hervorgerufen werden, beschafft.

Bei einem solchen Stand der Dinge war freilich bei den herrschenden Ansichten über die Infektionskrankheiten der weitere Schlufs, dafs das Wasser aus einem von sich zersetzenden organischen Abfallstoffen imprägnierten Boden bei Aufnahme solcher Substanzen geeignet ist, gewisse Infektionskrankheiten hervorzurufen, nicht nur natürlich, sondern sogar unumgänglich. Als eine weitere Konsequenz der eben angedeuteten Ansichten mufste sich die Anschauung einstellen, dafs der chemischen Analyse des Wassers, durch welche man die Möglichkeit erlangt, Kenntnis davon zu erhalten, ob das Wasser etwaige ausgelaugte organische Stoffe oder deren Produkte enthalte, die entscheidende Bedeutung in der Frage der Wasserbeurteilung zugeschrieben wurde.

Was die ätiologische Beziehung der durch die chemische Analyse nachgewiesenen Stoffe zur Entstehung der Infektionskrankheiten selbst anlangt, so herrschten darüber zwei Ansichten, und zwar, dafs die organischen Stoffe oder deren Zersetzungsprodukte selbst das betreffende spezifische infektiöse Virus bilden, oder dafs sie ein Indikator sind, der auf fäulniserregende und daher infektiösen Virus enthaltende Nester im Boden hinweist, mit denen das Wasser im Boden in Berührung steht.

Im Sinne der letzteren Anschauung hat man dann vorausgesetzt —, dies ist durch die Unkenntnis des wahren Charakters des infektiösen Virus zu erklären — dafs der infektiöse Virus aus derartigen fäulniserregenden Nestern auf dieselbe Weise und denselben Wegen in das Wasser gelangt, wie die organischen Stoffe oder deren Zersetzungsprodukte, die aus den verunreinigten Bodenschichten in die Grundwässer übergehen.

Es ist natürlich, dafs bei solchen Verhältnissen die Beurteilung des Wassers gänzlich in die Hände der Chemiker überging, die nicht nur die Methoden der chemischen Wasseranalyse zu einer grofsen Vollkommenheit gebracht, sondern auch, ohne mit Zeit und Mühe zu kargen, mit Ameisenfleifs Analysen ausgeführt haben, bei welchen die organischen Bestandteile und deren Produkte mit der Genauigkeit der vierten Dezimalstelle bestimmt wurden, eine Präcisität, die bei dem nunmehrigen Stand der Dinge freilich völlig zwecklos erscheint.

Solcher Analysen und Gutachten sind im Laufe der Zeit eine Unzahl erschienen.

Um jedoch die Wasserbeurteilung zu erleichtern, wurde noch ein Schritt weiter gemacht und für die durch chemische Analyse nachgewiesenen Verbindungen gewisse Grenzwerte bestimmt, die zum Mafsstabe der Wasserqualität dienten. Je nachdem sich das Verhältnis der nachgewiesenen Bestandteile zu diesen Grenzwerten gestaltete, wurde das Wasser für unbrauchbar, verdächtig, sanitär schädlich, gesund und ähnlicherweise erklärt.

Nachdem dieses Stadium erreicht worden war, war die Analyse und Begutachtung des Wassers, wie zu sehen, nichts anderes mehr, als ein mechanisches, geistloses Handwerk.

Auf Grund solcher Gutachten wurde das Wasser unzähliger Quellen und Brunnen für infektiös erklärt und die Brunnen gesperrt. Besonders aber wurde das Grundwasser im Umkreise ganzer Städte, ja selbst ihrer nahen Umgebung, für unbrauchbar, höchstens zum Wasserbespritzen und Gärtenbegiefsen geeignet, erklärt. Infolgedessen hat man bei der Wasserversorgung der Städte immer mehr zu den Oberflächenwässern, die bei der chemischen Analyse eine günstigere Zusammensetzung als viele Grundwässer aufwiesen, gegriffen.

Solche Trinkwasserbegutachtungen entsprachen freilich den Anschauungen der damaligen Zeiten und waren der herrschenden Ansicht nach völlig berechtigt.

Und es fiel vielleicht nicht einem einzigen von denen ein, die solche Gutachten abgaben, sich die Frage vorzulegen, ob die Basis, auf welcher die Trinkwasserbeurteilung aufgebaut war und die im Laufe der Zeit zu Konsequenzen von solch unermefslicher Wichtigkeit führte, thatsächlich bewiesen oder nicht eher hypothetischen Charakters ist.

So pflegt es jedoch gewöhnlich zu sein, dafs der Mensch sich eher an eine ihn befriedigende, jedoch nicht bewiesene Hypothese anschliefst, die er oft bis in die entferntesten Konsequenzen durchführt, anstatt sich zu vergegenwärtigen und zu bekennen, dafs das Wissen lückenhaft ist.

(Bei der Wasserbeurteilung erforderte nun ein derartiges Bekenntnis eine umso gröfsere Selbstverleugnung, als es gleichzeitig materiellen Verlust bedeutete, da die Analysen des Wassers als Nutzgegenstandes von allgemeiner und sanitärer Wichtigkeit sehr gut honoriert wurden.)

Es traten zwar einzelne Hygieniker, besonders Flügge, auf, die Zweifel über die Richtigkeit der Ansichten bezüglich der Trinkwasserbeurteilung aussprachen, doch blieben sie von den Chemikern, welche die Wasserbeurteilung in den Händen hatten, unbeachtet.

Erst vor einer nicht langen Zeit, als durch die Forschungen von Pasteur und Koch das Studium der Infektionskrankheiten eine exakte Basis erhielt und man auf Grund der von Pasteur und Koch inaugurierten Methoden zu ungeahnten und grofsen Resultaten und zu einem wenigstens in gewissen Teilen festen Wissen gelangte, kam es infolgedessen auch in der Trinkwasserbeurteilung zu einem völligen Umschwunge.

In dieser Richtung ist vor allem der Beweis geliefert worden, dafs die Infektionskrankheiten durch gewisse spezifische lebende Organismen hervorgerufen werden, deren Charakter, Lebensbedingungen und -Erscheinungen in ihren wichtigsten Teilen mit Hilfe der von Koch entdeckten Methoden erforscht und erkannt wurden.

Die Annahme, dafs die Infektionskrankheiten durch irgendwelche chemische Verbindungen hervorgerufen werden, zeigte sich also im Lichte der neuen Forschungen als irrig.

Für die Untersuchung und Beurteilung des Wassers ergab sich aus dieser prinzipiellen Thatsache, daſs das, was man bisher im Wasser untersucht und analysiert hat, nie das schädigende Element selbst gewesen ist.

Es ist weiterhin nachgewiesen worden, daſs die die Infektionskrankheiten hervorrufenden Mikroorganismen verschiedene Spezies vorstellen, die nicht nur untereinander (nach der Krankheit), sondern auch von den die Fäulnis und die fermentative Zersetzung bewirkenden und in der Natur überall weit verbreiteten (sog. saprophytischen) Mikroben gänzlich differieren.

Demgemäſs zeigte sich auch jene oben angeführte Annahme, nach welcher organische Stoffe von infektiösem Virus volle Nester bilden, irrig.

Daraus geht selbstredend hervor, daſs die aus der Thätigkeit und Wirksamkeit der saprophytischen, fäulniserregenden Mikroorganismen hervorgehenden Produkte, wie Ammoniak oder salpetrige Säure, noch nicht ohne weiteres auf die Gegenwart pathogener Mikroben hinweisen.

Da weiterhin der Beweis erbracht worden ist, daſs die Infektionsvirus nicht für chemische Verbindungen gehalten werden können, sondern daſs sie Mikroorganismen, also korpusculäre Elemente sind, so konnte man mit groſser Wahrscheinlichkeit annehmen, daſs sich das Eindringen von organischen Stoffen und deren Zersetzungsprodukten in tiefere Bodenschichten wohl nach anderen Regeln richten wird, als das Durchdringen der pathogenen Mikroben.

Eine genaue Klarlegung und Durchforschung fand diese Frage in den oben des näheren besprochenen Arbeiten von Fränkel, aus welchen hervorgeht, dafs die Mikroben im Gegensatze zu den gelösten chemischen Verbindungen sehr schwer in tiefere Bodenschichten eindringen.

Nachdem wir in Kürze die eben angeführten Thatsachen besprochen haben, glauben wir zur Genüge bewiesen zu haben, dafs die Suppositionen, auf Grund deren der chemischen Analyse das entscheidende Wort bei der Entscheidung der Frage der Infektiosität des Wassers zugeschrieben wurde, im Lichte der neueren und zwar auf Grund experimenteller Erfahrungen ermittelten Anschauungen irrig sind, so dafs wir wiederum zu der ursprünglichen Frage zurückkehren können: nach welchen Eigenschaften kann man erkennen, dafs das Trinkwasser unfähig ist, durch Eindringen pathogener Keime bedingte Krankheiten hervorzurufen?

Wie oben erwähnt wurde, berechtigt uns die Nichtauffindung von pathogenen Organismen in der zur Untersuchung entnommenen oder zugeschickten Probe keinesfalls zu einer günstigen Begutachtung, da das betreffende Wasser selbst mehrere Jahre von denselben frei bleiben kann und zu keinen sanitären Mängeln Anlafs gibt, jedoch auf einmal, freilich aus gewissen Ursachen oder, besser gesagt, gewissen, der betreffenden Quelle oder Brunnen eigenen Mängeln die Entstehung einer grofsen z. B. Typhusepidemie hervorruft.

Aus dem Angeführten geht hervor, dafs man bei der Wasserbeurteilung die Frage der pathogenen Or-

ganismen von einem bedeutend höheren Standpunkte behandeln mufs. Es genügt also nicht das Nichtauffinden derselben in der Gegenwart, sondern es mufs aufserdem überhaupt der Beweis und die Bürgschaft geliefert werden, dafs das Eindringen derselben in das betreffende Brunnen- oder Quellwasser unter allen Umständen ausgeschlossen bleibt, wenn das Wasser für zum Trinken geeignet erklärt werden soll.

Es frägt sich nun, unter welchen Umständen das Eindringen von pathogenen Mikroben in das Wasser für ausgeschlossen gehalten werden kann.

In dieser Hinsicht mufs man mit zwei prinzipiell verschiedenen Fällen rechnen.

Im ersten Falle handelt es sich um ein Terrain oder Wassergebiet, in welchem überhaupt keine Gelegenheit geboten wird, dafs pathogene Mikroorganismen auf die Oberfläche oder in die Bodenschichten gelangen könnten.

Die dazu notwendigen Bedingungen sind dann gegeben, wenn das betreffende Wassergebiet oder Terrain, indem es unbewohnt und von dem menschlichen Verkehre ausgeschlossen ist, auf diese Weise eo ipso gegen die Verunreinigung durch Abfallstoffe geschützt ist.

Im Hinblick darauf, dafs in diesem Falle infolge der hygienischen Reinheit des Wassergebietes (bedingt durch Mangel jeder Ansiedelung) der Zutritt pathogener durch das Wasser verbreiteter Organismen unmöglich gemacht ist, ist es klar, dafs man hier auf die Stärke der die Bodenoberfläche von dem Niveau der Grund-

wasser scheidenden Filtrierschichte nicht die Anforderung zu stellen braucht, dafs sie absolut fähig[1]) wären, die Gewässer vor dem Eindringen pathogener Organismen zu schützen.

Als Beispiel von Wasserversorgungen, bei welchen auf diese Weise die Bürgschaft des Nichteindringens pathogener Organismen erzielt wird, können in gewissen Fällen die oben erwähnten Thalsperren dienen, bei welchen zum Teile das Wasser der direkten Regenniederschläge, zum Teile das Wasser der im Thale zusammenlaufenden Quellen zur Verwendung kommt, welche Art der Wasserversorgung bereits oben beschrieben worden ist.[2])

Der zweite prinzipiell verschiedene Fall ist der, in welchem an dem betreffenden Terrain oder Wassergebiet in Folge der Gegenwart menschlicher Wohnungen (Städte, Dörfer) und der damit verbundenen Verunreinigung der Bodenschichten durch menschliche und tierische Abfallstoffe (besonders von seiten Latrinen, Kanälen, Düngerhaufen etc.) die Möglichkeit gegeben ist, dafs aus dem menschlichen Körper durch Vermittlung von Faeces und anderen Sekreten ausgeschiedene pathogene Organismen in die Bodenschichten eindringen können.

Es ist unnötig, des näheren anzuführen, dafs unter den angeführten Umständen das Grundwasser nur dann mit Sicherheit vor dem Eindringen pathogener Organismen

[1]) Diese Anforderung wird bei dem zweiten prinzipiell möglichen Falle besprochen worden.

[2]) Siehe Seite 7.

geschützt bleibt, wenn die Filtrationsfähigk
Grundwasserniveau von der Bodenoberfläche
Bodenschichten eine derartige sein wird,
ihre Thätigkeit die in einzelnen Perioden aus d
Orten in den Boden eindringenden pathogen
men mit Sicherheit noch vor ihrem Eindrin
von dem Grundwasserniveau bedeckten Schich
gehalten werden.

Auf solche Weise sind wir endlich bis a
der Angelegenheit gedrungen, d. h. zu der Fr
welchen Bedingungen man bei gleichzeitiger
Verunreinigung der Bodenschichten das Gr
durch die Filtrationsfähigkeit des Bodens vor
dringen pathogener Mikroben für geschützt ans

Die Antwort kann mit Rücksicht auf
früher über die Bodenfiltration den Mikroo
gegenüber überhaupt und den pathogenen Mik
sonders angeführt wurde, nur in dem Sinne lau
die notwendigen Umstände und Bedingu
vollem Mafse dann gegeben sein werden
sich das den Brunnen oder die Quelle sp
Grundwasser in den Grenzen steriler
schichten befinden wird, d. h. wenn es
steril sein wird.[1])

Was die Quellen anlangt, so ist freilich h
heben, dafs, da das die Quelle nährende Grun
eine Strecke vor dem Ausflusse aus dem Bo
oberflächlichen, nicht sterilen Bodenschichten

[1]) Soweit dem Verfasser bekannt ist, ist diese Konklus
erstenmale von Hueppe begründet und ausgesprochen wo

… und die Wände des
… durchdringt, sich
…nengt und so zu den
… viel Flußwasser sich
…rstande, d. h. der Durch-
… Wände des Flußbettes
… Größe der Fläche, an
…pressionskegel erreicht
…pressionskurve in den
…llen ab.
… des Flußbettbodens
… der Poren durch
…mengen freilich fast

…merkt werden, daß,
… Wände des Fluß-
…eutend porös sind,
… Verstopfung der
…ler Lettepartikeln,
…tuell gänzlich auf-

…den, daß, we…
…ses aus porö…
…, das Beimen…
… — wenigst…
…hung des Flu…
… überschwemm…
…ler Richtung zu…
…n würde — mit
…esamtqualität des

Nach dieser Ablenkung kehren wir nunmehr wieder zu dem eigentlichen Gegenstande der weiteren Abhandlung zurück, wobei die Aufgabe an uns tritt, anzugeben und zu bestimmen, auf Grund welcher Erkenntnisse vom Grund- oder Quellwasser das Urteil ausgesprochen werden kann, dafs dasselbe sterilen Bodenschichten entstammt.

Mit Rücksicht auf das in den früheren Absätzen Angeführte ist vor allem klar, dafs die zur Beantwortung der aufgestellten Frage notwendigen Erkenntnisse auf zweierlei, prinzipiell verschiedenen Wegen erreicht werden können:

a) Durch Untersuchung des Bodenfilters selbst auf seine Filtrationsfähigkeit bei gleichzeitiger Sicherstellung, in welchem Mafse in dem betreffenden Terrain das Einsickern unreiner Abfallstoffe in die Bodenschichten ermöglicht ist, oder mit anderen Worten, wie grofs die im gegebenen Falle dem Bodenfilter auferlegte Rolle ist. Der Komplex der nach dieser Richtung hin unternommenen Untersuchungen und Nachforschungen wird gewöhnlich Lokaluntersuchung (eingeführt von Gruber) genannt.

b) Durch Untersuchung des Filtrationseffektes.

Die Lokaluntersuchung.

Zum Zwecke derselben mufs konstatiert werden, wo in dem Territorium, um dessen Grundwasser es sich handelt, sich unreine Orte oder Sammelstätten befinden, in welche Abfallstoffe Zutritt haben, weiterhin welcher

Art die betreffenden unreinen Orte und Sammelstätten sind, und welche Eigenschaften sie besitzen, sowie was für eine Beschaffenheit die in denselben enthaltenen Abfallstoffe aufweisen.

In dieser Hinsicht ist von besonderer Wichtigkeit, zu untersuchen, ob solche Orte überhaupt und in welcher Weise ausgemauert sind, ob und in welchem Maſse dieselben durchlässig sind und wie tief in den Boden der Grund jener Orte eingelassen ist; mit Bezug auf den Inhalt, welchen Ursprungs derselbe ist, und weiterhin, ob er flüssig, fest oder trocken[1]) ist (infolge von Beimengung von Ackererde oder Torfmull u. ähnl.), und wie weit sie von dem Brunnen oder der Quelle, um die es sich gegebenenfalls handelt, entfernt sind.

Eine weitere Aufgabe der Lokaluntersuchung wird die Untersuchung des Bodenfilters mit Rücksicht auf dessen Filtrationsfähigkeit bilden, welchem Zwecke die Feststellung des Charakters der das Grundwasserniveau sowohl von der Bodenoberfläche als auch von der Sohle der unreinen Orte scheidenden Bodenschichten sowie die Bestimmung ihrer Stärke dient. Auf diese Weise erlangt man besonders davon Kenntnis, ob das den Brunnen oder die Quelle speisende Grundwasser sich oberhalb oder etwa unterhalb der ersten undurchdringlichen Schichte

---

[1]) Mit Hinblick auf die letztangeführte Eigenschaft sei darauf hingewiesen, was in einem vorhergehenden Absatze angeführt worden ist, daſs nämlich das Einsickern von flüssigen Abfallstoffen aus gewissen Sammelstätten in den Boden rascher vor sich geht, so daſs sich die filtrative Wirkung des Bodenfilters den normalen Verhältnissen gegenüber natürlicherweise vermindert.

befindet, und ob die das Grundwasserniveau bedeckenden Bodenschichten ein kontinuierliches, aus feinen Körnern bestehendes Ganze (wie z. B. die angeschwemmten Sand- oder Lehmschichten) oder etwa eine von Rissen zernagte Formation (wie beispielsweise die Sandsteine der Kreideformation etc.) bilden.

In einzelnen Fällen kann einen wichtigen Punkt der Lokaluntersuchung teils die Feststellung der Bewegung des von dem Sammelsystem aufgefangenen, zu gewissen nahe gelegenen unreinen Orten (Kanälen, Flüssen) in Korrelation stehenden Wasserstromes, teils die Bestimmung des Grundwasserniveaus bilden (und der damit eventuell verbundenen Änderungen der Strömung), welche sich nach Einführung jener intensiven Wasserentnahme einstellen wird, die — wenn es sich um Versorgung gröſserer Gemeinden mit Wasser handelt — nach der Installation der Wasserleitung zur Anschaffung der notwendigen Wassermenge nötig erscheinen wird.

In der angeführten Hinsicht verdienen besonders jene Fälle eine sehr sorgfältige Aufmerksamkeit, in welchen sich die Brunnen oder Drainagen (deren Aufgabe es ist, an einer bestimmten günstigen, durch die geologischen Verhältnisse gegebenen Stelle, den Strom des unterirdischen Wassers aufzufangen) bereits in der Nähe von Flüssen befinden oder daselbst errichtet werden sollen.[1])

---

[1]) Die Ursache davon ist, daſs der durch die geologischen Verhältnisse gegebene Charakter der Grundwässer nicht selten ein derartiger ist, daſs das Auffangen des Wassers am leichtesten und vollkommensten in einer gewissen Entfernung vom Flusse, d. h. vor der unterirdischen Mündung desselben in das Fluſsbett sich bewerkstelligen läſst.

Denn, besteht das Ufer aus porösen, für das Wasser durchdringbaren Schichten, und soll das durch das Sammelsystem aufgefangene Wasser seine sonst regelmäfsig gute Qualität nicht verschlechtern, so ist die Forderung unausweichlich, dafs der Depressionskegel des Grundwasserniveaus, der dem notwendigen, aus der Sammeleinrichtung fortwährend entnommenen Wasserverbrauche entspricht, nicht nur vom Wasser bedeckte Flufsbetteile nicht kreuzen, sondern dafs dessen peripherer Teil nicht einmal in einer gröfseren Nähe des Flufsbettes endigen darf.

Depressionskegel nennen wir jene Erscheinung, die an dem Grundwasserniveau als Folge intensiver Wasserentnahme auftritt. Dieselbe ist dadurch charakterisiert, dafs das Grundwasserniveau in einem bestimmten Bodenbezirke um die Schöpfstelle herum in der Art herabsinkt, dafs die des Grundwassers entledigten Bodenschichten einen Kegel bilden, dessen Spitze nach unten gerichtet und dessen Mantel gleichmäfsig rundherum eingedrückt ist.

Würde man durch den Scheitel und den Mittelpunkt der Basis dieses Dreieckes eine Ebene führen, so würde man ein sphärisches Dreieck erhalten. Die Schenkel des Dreieckes, die den Stellen entsprechen, in welchen die Ebene den Mantel durchschnitten hat, heifsen Depressionskurve. Der von dem Depressionskegel oder, wie oft gesagt wird, von der Depressionskurve eingenommene Bezirk heifst »Depressionsbezirk«.

Dafs der Charakter der Depressionskurve mit a) der Intensität der Wasserentnahme, b) dem Widerstande,

den das Wasser bei seinem Durchtritte durch die engen Bodenporen erfährt, zusammenhängt, dürfte auf den ersten Blick klar sein. Die Wasserbewegung ist im ganzen Bereiche des Depressionskegels radial, und zwar gegen die niedrigste Stelle hin, d. i. gegen den Scheitel des Depressionskegels gerichtet. Daraus geht hervor, daſs der Depressionsbezirk jene Stellen des Bodens umfaſst, an welchen das ursprüngliche Wassergleichgewicht infolge des intensiven Abschöpfens gestört worden ist, so daſs zur Erzielung des Gleichgewichtes an den Stellen des Depressionsbezirkes sowohl die Richtung, als auch die Schnelligkeit der Grundwässer den ursprünglichen Verhältnissen gegenüber groſse Veränderungen erleiden muſsten.

Aus dem Angeführten geht freilich weiterhin hervor, daſs der Depressionskegel sich sowohl was die Breite, als auch was die Höhe betrifft, mit der Vergröſserung der Intensität des Schöpfens (bei unverändertem Widerstande) und mit dem Anwachsen des Widerstandes (bei unveränderter Intensität des Schöpfens) ändern wird. Desgleichen ist auch klar, daſs je gröſser der Widerstand des Bodens sein wird, desto gröſser auch die Höhe des Depressionskegels und gleichzeitig desto gröſser das Gefälle der Depressionskurve in der Richtung zu dem Orte der Wasserentnahme sein wird.

Appliziert man nun vor allem das, was eben erklärt wurde, auf die Verhältnisse, unter welchen die Depressionskurve des Grundwasserniveaus das Fluſsbett kreuzen wird, so begreift man leicht, daſs unter solchen Bedingungen die Möglichkeit gegeben

ist, dafs durch den Boden und die Wände des Flufsbettes das Flufswasser durchdringt, sich mit dem Grundwasser vermengt und so zu den Sammelröhren gelangt. Wie viel Flufswasser sich beimengt, hängt a) von dem Widerstande, d. h. der Durchlässigkeit der den Boden und die Wände des Flufsbettes bildenden Schichten, b) von der Gröfse der Fläche, an welcher das Flufsbett von dem Depressionskegel erreicht wird, c) von dem Gefälle der Depressionskurve in den dem Flufsbette entsprechenden Stellen ab.

Im Falle der Undurchlässigkeit des Flufsbettbodens (z. B. bei vollständiger Verstopfung der Poren durch feine Lettenbestandteile) wäre das Beimengen freilich fast Null gleich.

Es mufs nämlich gleichzeitig bemerkt werden, dafs, wenn auch die den Boden und die Wände des Flufsbettes bildenden Bodenschichten bedeutend porös sind, die Durchlässigkeit derselben durch Verstopfung der Poren mit feinen, besonders Thon- oder Lettepartikeln, mehr oder weniger vermindert, ja eventuell gänzlich aufgehoben werden kann.

Vielleicht wird eingewendet werden, dafs, wenn auch der Grund und die Ufer des Flusses aus porösen, wasserdurchlässigen Schichten bestünden, das Beimengen des Flufswassers zu dem Grundwasser — wenigstens solange es nicht zu einer solchen Erhöhung des Flufswasserstandes käme, dafs das Uferterrain überschwemmt wäre und das Wasser dann in vertikaler Richtung zu den Drainagen und Brunnen durchsickern würde — mit Bezug auf die Verschlechterung der Gesamtqualität des

Wassers nicht in die Wagschale fallen wird, und zwar aus dem Grunde, weil der aus dem Flusse zu den Sammeleinrichtungen dringende Wasserstrom der Bodenfiltration unterworfen wird, die bei der bedeutenden Stärke der Schichten, welche der Strom des Flufswassers auf seinem Wege zu den Drainagen durchdringen mufs, gewifs zur Erreichung des notwendigen Filtrationseffektes genügen wird.

Als Hauptbeweis, dafs der Filtrationseffekt entsprechend ist, wird vielleicht angeführt werden, dafs man — Fränkels[1]) Befunden gemäfs — bereits unter einem 2—4 m starken Bodenfilter auf sterile Schichten stofsen kann, und dafs weiterhin die zur zentralen Wasserversorgung verwendeten Sandfilter, die eine durchschnittlich etwa 1 m hohe Sandschichte besitzen, im stande sind, wie besonders die in einzelnen Grofsstädten (Berlin, Altona, Hamburg u. a.), in denen dieses System in Verwendung steht, gemachten Erfahrungen beweisen, einen solchen Filtrationseffekt herbeizuführen, dafs man aus verunreinigten Flufswässern ein zum Trinken geeignetes Wasser erhalten kann.

Die angeführten Gründe scheinen thatsächlich viel für sich zu haben, ja sie könnten dem ersten Anscheine nach sogar richtig erscheinen; trotzdem kann ich zum Teile theoretisch durch Anwendung der Prinzipien, durch welche das Wesen der Boden- und Sandfiltration gegeben ist, zum Teile auch durch thatsächliche, in analogen Verhältnissen gemachte Beobachtungen den Beweis liefern, dafs die oben angeführten Einwände und Beweise nicht bedingungslose Geltung haben.

---

[1]) l. c.

Was die theoretischen Gegenbeweise anlangt, so will ich die nachfolgenden anführen:

Es ist zwar richtig, dafs man den Versuchen Fränkels gemäfs bereits unter einem nicht sehr starken (2—4 m) Bodenfilter auf sterile Bodenschichten stofsen kann. Dabei mufs man jedoch darauf achten, dafs sich die Versuche von Fränkel auf solche natürliche Verhältnisse beziehen, unter welchen die Geschwindigkeit, mit welcher das vertikale Fortschreiten der Regenniederschläge in den Boden vor sich geht, aufserordentlich gering ist, indem sie, wenn wir uns an die Beobachtungen von Hoffmann[1]) halten, etwa 1.3—2 m pro Jahr beträgt.

Aus dem eigentlichen Wesen der Bodenfiltration, das oben genau dargelegt worden ist, geht jedoch weiterhin hervor, dafs für das leichtere oder schwierigere Vordringen feiner Körperchen oder Bakterien in die Tiefe, die unter den gegebenen Verhältnissen herrschende vertikale Filtrationsgeschwindigkeit im Boden das entscheidende Moment bildet.

Aus dem geht sicherlich mit aller Bestimmtheit hervor, dafs die Befunde von Fränkel als Beweis für die Behauptung, dafs Bodenschichten, die mehr als 2—4 m stark sind, zur Erzielung eines verläfslichen Filtrationseffektes genügen, höchstens in dem Falle zugelassen werden könnten, wenn die Geschwindigkeit des Flufsstromes beim Durchdringen der Uferbodenschichten zu den Sammeleinrichtungen die natürliche vertikale Geschwindigkeit, auf welche die Versuche von Fränkel

[1]) Hoffmann: l. c.

bezogen werden müssen, nämlich 1.3—2 m pro Jahr nicht übertreffen würde.

Es ist jedoch nicht anzuzweifeln, dafs die Geschwindigkeit selbst an der Peripherie des Depressionskegels ungezähltemale gröfser sein mufs als der angeführte Wert, und dafs sie sicherlich mehrere Meter pro Tag betragen mufs, da es sonst nicht möglich wäre, mit Hilfe der Sammeleinrichtungen grofse Tageswassermengen zu erzielen.

Was den oben erwähnten und aus den Erfahrungen über die Sandfiltration gezogenen Schlufs betrifft, so müssen wir, um ins klare zu kommen, vor allem den Vorgang der Sandfiltration und die Entstehung des durch diese Reinigungsmethode erzielten Filtrationseffektes im Prinzipe darlegen. Durch den Vergleich der Verhältnisse, unter welchen die Filtration durch die Uferschichten bis zu den Sammeleinrichtungen vor sich geht, mit den Prinzipien der Sandfiltration werde ich dann zeigen können, dafs gegen die Richtigkeit der obigen Konklusion, wenigstens in der oben gegebenen allgemeinen Fassung, viel eingewendet werden kann.

Bezüglich der Entstehung des Filtrationseffektes bei der Sandfiltration mufs das Nachfolgende vorausgeschickt werden:

Das in Thätigkeit versetzte Sandfilter hat im Anfange überhaupt keine Filtrationswirksamkeit. Dieselbe stellt sich erst nach einiger Zeit ein, bis die Poren des obersten Teiles des Sandfilters durch feine, die Trübung der Oberflächenwässer bedingende Körperchen verstopft werden, wodurch die sog. Filtrierhaut entsteht, von

deren Bildung eben der mächtige Filtrationseffekt der erwähnten Filter abhängt.

Nach Abtragung dieser Filtrierhaut schwindet, wie die Erfahrung lehrt, die Wirksamkeit der Sandfilter vollkommen.

Aus dem Angeführten geht hervor, daſs das Sandfilter bei der bei diesem Vorgange gebrauchten Filtriergeschwindigkeit, d. h. 2.4 m pro Tag ohne die Filterhaut nicht im stande wäre, einen wesentlichen Filtrationseffekt herbeizuführen, auch wenn wir die Sandschichte einigemale verstärken würden.

Appliziert man diese Erfahrungen auf die Verhältnisse im Fluſsbette, von welchem sich bei dem herrschenden Modus der Wasserentnahme ein Wasserzufluſs zu den in wenig entfernter Nachbarschaft gelegenen Sammeleinrichtungen gebildet hat, so wird man leicht den Schluſs ziehen können, daſs, solange der Stand des Flusses sich in der Normale nahen Grenzen bewegen wird, in welchen eben die Möglichkeit der dauernden Erhaltung einer Filterhaut gegeben ist, auch der Filtrationseffekt gut und dem der Sandfiltration analog sein kann, freilich unter der Bedingung, daſs die Geschwindigkeit, mit welcher sich der Fluſswasserstrom zu der Sammeleinrichtung bewegt, in den Orten des Durchtrittes durch das Ufer die Grenze der für die Sandfiltration gültigen Filtriergeschwindigkeit nicht übersteigen wird.

Es ist jedoch gleichzeitig zu bemerken, daſs die Filtrationsgeschwindigkeit, so wie sie bei der Sandfiltration verstanden wird, bloſs $^1/_3$ jener wirklichen Ge-

schwindigkeit, mit welcher sich das Wasser zwischen den Sandkörnern des Filters bewegt, angibt (da das Volnmen der zwischen den Sandkörnern enthaltenen Poren, durch die eben das Wasser dringt, etwa $^1/_3$ des Gesamtvolumens der Sandschichte beträgt), so dafs die wirkliche Filtriergeschwindigkeit bei Angabe eines Wertes von beispielsweise 2.4 m pro Tag etwa das Dreifache, d. h. 7.2 m pro Tag, betragen mufs.

Mit Hinblick darauf ist klar, dafs, wenn die Erfahrungen über die Erzielung eines guten Filtrationseffektes auf die Erscheinungen des Durchtrittes des Flufswassers durch die Uferschichten übertragen werden sollten, die Stromgeschwindigkeit an der Peripherie des Depressionskegels an den Orten des Flusses den Wert von 7.2 m pro Tag nicht überschreiten dürfte.

Aus dem Angeführten geht hervor, dafs ein guter Filtrationseffekt bei einem dem Normale nahen Flufswasserstande thatsächlich denkbar und möglich ist.

Diese Verhältnisse verändern sich jedoch, wie ich leicht und zwar schon auf Grund einer theoretischen Erwägung zeigen kann, wenn der Flufswasserstand sich in irgend einer intensiveren Weise über die dem normalen Zustande nahe Grenze erhöht.

Unter solchen Verhältnissen kommt dann die zu den Sammeleinrichtungen drängende Komponente des Flufswassers in den oberen Uferteilen mit der einer Filtrierhaut entbehrenden Fläche in Berührung — zur Zeit des niederen Wasserstandes trocknet nämlich diese Haut ein, schält sich und fällt teilweise ab, wodurch die Poren frei werden — so dafs in grofsem Mafse die

Möglichkeit — ja sozusagen die Sicherheit — der Verschlechterung des Filtrationseffektes gegeben ist.

Denn das Fehlen der Filterhaut in porösem Terrain wird sicherlich nicht einmal eine bedeutende Länge des Bodenfilters ersetzen können und zwar aus dem Grunde, weil nicht nur die Geschwindigkeit der Wasserströme im Depressionsbezirke sehr bedeutend ist, sondern weil dieselbe je näher dem Scheitel des Depressionskegels, desto mehr anwächst.

Zieht man nun in Betracht, dafs nach den Versuchen von Fränkel, die, wie gezeigt wurde, auf die aufserordentlich kleine Filtrationsgeschwindigkeit von $1^1/_2$—2 m pro Jahr zu beziehen sind, das einer Filterhaut im Sinne der Sandfiltration entbehrende Bodenfilter erst in einer Stärke von 2—4 m die gänzliche Zurückhaltung der Mikroben zu bewirken im stande ist, kann man da annehmen, dafs bei einer einige hundert Male vergröfserten Geschwindigkeit — und mit einer solchen kann im Bezirk der Depressionskurve sicherlich mit aller Wahrscheinlichkeit gerechnet werden — Bodenschichten von etwa 100 bis 200 m Stärke, in welchen das Flufswasser je weiter vom Ufer, desto intensiver zum Schöpfbrunnen strömt, einen vollkommenen Filtrationseffekt herbeiführen könnten?

Welche Bedeutung einer solchen Beimischung von Flufswasser zukommt, wo durch die Filtration keine Bürgschaft einer gehörigen Reinigung und Verbesserung geleistet wird, darauf brauchen wir mit Rücksicht auf das früher von den Oberflächenwässern Angeführte sicherlich nicht weiter einzugehen. Es mufs ja ganz klar sein, dafs zu Zeiten, in welchen in den betreffenden

Flufs mit gewissen unreinen Zuflüssen (Kanälen etc.) pathogene Organismen eindringen würden, die Möglichkeit nicht ausgeschlossen ist, dafs dieselben auch in die Sammelröhren gelangen und so die Wasserleitung infizieren.

Erlangt jedoch der erhöhte Wasserstand eine gewisse Höhe, auf welcher er dann einige Zeit verbleibt, ohne dafs sich ein weiteres Ansteigen zeigt, so ist die Annahme berechtigt, dafs sich auch an der Uferfläche, auf welcher im Anfange der Wasseranschwellung die Bodenporen sehr locker und durchgänglich waren, infolge des Durchtrittes getrübten Wassers in einiger Zeit eine Filtrierhaut bilden wird, die allmählich eine Vervollkommnung des Filtrationseffektes nach sich ziehen wird.

Dafs diese Spekulation richtig ist, kann jedoch weiterhin, wie oben angedeutet wurde, auch durch thatsächliche Beobachtung analoger Verhältnisse dargelegt werden.

Als Beweis können meine[1]) den Filtrationseffekt bei der sog. natürlichen Filtration betreffenden Befunde angeführt werden, bei welcher nämlich die Sammeleinrichtungen (Brunnen mit horizontal gelegten Drainagen entweder unter dem Flufsbettboden liegen und von einer ca. 1—2 m starken Bodenschichte bedeckt sind, oder in angemessener Tiefe auf Flufsinselchen angelegt sind.

Durch diese Befunde wurde, soweit sie die diskutierte Frage berühren, das Nachfolgende konstatiert:

---

[1]) Kabrhel: Vervollkommnung des Filtrationseffektes bei der zentralen Filtration. Hygien. Rundschau 1897.

a) Der Filtrationseffekt mit Bezug auf die Zurückhaltung der Mikroben ist bei etwa normalen Wasserständen und bei mäſsiger Filtrationsgeschwindigkeit (d. h. wenn die Brunnen nicht forciert und geringere Druckdifferenzen angewendet werden) ein sehr vollkommener.[1]) Bei einzelnen Brunnen gleicht derselbe, ja übertrifft sogar den Filtrationseffekt bei der Sandfiltration mit der (normal angewandten) Filtrationsgeschwindigkeit von 2.4 m pro Tag.

b) Zur Zeit der Wasseranschwellung im Flusse verschlechtert[2]) sich der Filtrationseffekt. Währt jedoch der höhere Wasserstand längere Zeit, so verbessert sich

---

[1]) l. c. So fanden sich z. B. in einem solchen Filtrierbrunnen in der Zeit vom 24. Oktober bis 14. November, in welcher die Moldau sich in den der Normale nahen Grenzen hielt, in 1 ccm Filterwasser bei den täglich vorgenommenen Zählungen 32, 15, 18, 53, 12, 23, 32, 19, 28, 30, 38, 16, 28, 13, 57, 21, 19, 25, 75, 30, 14, 37 Keime, während die Keimmenge in 1 ccm Moldauwasser zwischen 2000—11000 schwankte.

[2]) l. c. Als Beispiel seien bakteriologische Analysen eines solchen Filtrierbrunnens angeführt, erstens während des Anschwellens der Moldau in der Zeit vom 10. Febr. bis 16. Febr., in welchem Falle 1 ccm filtrierten Wassers 43, 343, 1446, 787, 1346, 720, 442 Keime enthielt, während sich in 1 ccm Fluſswasser unweit des Wasserwerkes 2850, 8040, 32000, 55000, 60000, 53000, 38000 vorfanden; zweitens Analysen aus der Zeit vom 1. März 1896 angefangen, wo der auf + 17 cm stehende Moldaustand auf + 145 cm stieg, worauf das Wasser abzufallen begann (so daſs es am 16. März noch 64 cm über dem Normalen stand). In diesen Tagen wurden in 1 ccm filtrierten Wassers 39, 250, 319, 1704, 1160, 3046, 1024, 1226, 1801, 3240, 1360, 873, 507, 209, 187 (16. März 1897) Keime gefunden.

auch bei hohem Wasserstande der Filtrationseffekt, indem er nahezu den ursprünglichen Wert erreicht.

Es ist nunmehr an der Zeit, die Beziehungen des Flufswassers zu den Sammeleinrichtungen unter Verhältnissen zu besprechen, unter welchen in dem (zum Flusse verlaufenden und in demselben unterirdisch mündenden) Grundwasserstrome durch Wasserentnahme eine Depression gebildet wird, die das Flufsbett nicht schneidet, sondern in einer gewissen Entfernung vom Ufer endigt.

Es kann vor allem bewiesen werden, dafs unter solchen Verhältnissen in dem Zeitraume, in welchem der Wasserstand im Flusse dauernd dieselbe Höhe einnehmen wird, der Flufs für die Sammelröhren, aus welchen geschöpft wird, von der gleichen Bedeutung sein wird, als ob er überhaupt nicht vorhanden wäre, selbst, wenn die Bodenschichten des Grundes und der Ufer wasserdurchlässig wären.

Zur Erklärung ist das Nachfolgende anzuführen:

Da wir bei der Analyse unseres Falles von der Voraussetzung ausgehen, dafs sowohl der Wasserspiegel des Flusses dauernd unverändert bleibt, als auch die Richtung der Grundwässer zum Flusse geht, so mufs daraus unumgänglich gefolgert werden, dafs 1. das Grundwasserniveau zur Zeit, wo nicht geschöpft wird, eine allmähliche Neigung zum Flusse wird haben müssen (auf einem senkrecht zum Flufsbette geführten Flächendurchschnitte wäre ihr Niveau durch eine allmählich vom Flufswasserspiegel in die Höhe steigende Linie gegeben), 2. dafs bei der eingeführten und dauernden Wasserent-

nahme und der daraus resultierenden Depression (die jedoch das Flufsbett nicht erreicht), das Grundwasserniveau an den Stellen, an welchen die Depressionskurve endigt, höher stehen wird, als das Niveau des Wassers im Flufsbette.

Steht aber das Grundwasser am peripheren Endpunkte der Depressionskurve höher als das Flufswasserniveau, so ist freilich jedwedes Eindringen des Flufswassers, auch wenn das Flufsbett wasserdurchdringlich wäre, ausgeschlossen.

Denn dieser periphere Punkt der Depressionskurve bildet die letzte Grenze, von welcher die Bewegung des Wassers in der Richtung zum Scheitel des Depressionskegels gekehrt ist. Das, was sich zwischen dieser äufsersten Grenze und dem Flusse befindet, besitzt bereits Gefälle zum Flusse und daher auch Bewegung zu demselben, d. h. der Zutritt von Flufswasser in den Depressionsbezirk ist unter solchen Umständen unmöglich.

Sehen wir nunmehr, wie sich das Verhältnis des Flufswassers zu den Sammeleinrichtungen unter Umständen gestalten wird, in welchen zwar das Grundwasserniveau mit der Depressionskurve im wesentlichen dem vorangehenden Falle gleich sein wird, das Flufswasser aber anzusteigen beginnt.

Des leichteren Verständnisses wegen besprechen wir zuerst den Fall, bei welchem das Ansteigen des Wassers im Flusse sehr langsam vor sich gehen wird.

Es ist klar, dafs in einem solchen Falle durch Ansteigen des Wassers für den Abflufs des Grundwassers,

das auf die Seite zum Flusse abfällt, ein Hindernis gebildet wird.

Dieses Hindernis mufs freilich auf die bisherigen Verhältnisse des Gleichgewichtes zwischen dem Flufswasser und dem dem Flusse zueilenden Strome unterirdischen Wassers störend einwirken.

Gleichzeitig mufs weiterhin klar sein, dafs bei diesem Hindernisse das Gleichgewicht nicht anders zu erreichen sein wird, als wenn der Druck des unterirdischen Wassers etwa in dem Mafse anwächst, die der durch Ansteigen des Wassers im Flusse hervorgerufenen Drucksteigerung entsprechen würde.

Die zur Erzielung des Gleichgewichtes notwendige Drucksteigerung wird durch angemessene Anstauung des Grundwassers und daher durch Anschwellung am Orte vor der unterirdischen Mündung in den Flufs erhalten.

Mit Hinblick auf das Angeführte mufs jedoch auch klar erscheinen, dafs, solange das Ansteigen des Flufswassers langsam vor sich geht, und zwar so langsam, dafs der Zuflufs des unterirdischen Wassers zur Erreichung des notwendigen Grades der Anschwellung in den Orten vor der Mündung in den Flufs genügt, unter solchen Verhältnissen die das Verhältnis des Grundwassers zum Flusse in einzelnen Phasen des Ansteigens kennzeichnenden Kurven keine prinzipielle Änderung erleiden würden, und dafs wir uns also überzeugen könnten, dafs an allen jenen Kurven derjenige Teil derselben, welcher das Niveau zwischen dem Ufer und der Depression vorstellt, zum Flusse hin abfallen würde.

Infolgedessen bleibt auch in diesem Falle während der ganzen Zeit der allmählichen Anschwellung zwischen dem Fluſs und dem Depressionsgebiet ein Teil des Grundwassers eingelagert, der, zum Flusse abfallend, eine umgekehrte Richtung besitzt, als das von der Peripherie der Depressionskurve zum tiefsten Punkt derselben verlaufende Wasser.

Daraus geht mit aller Bestimmtheit hervor, daſs auch in diesem Falle die Nähe des Flusses ohne jeden Einfluſs auf die Qualität des Wassers der Sammeleinrichtungen bleiben muſs.

Gehen wir nunmehr zur Beobachtung jenes Falles über, in welchem das Fluſsniveau sehr schnell hoch ansteigt.

In diesem Falle ist die Möglichkeit gegeben, daſs der Zufluſs des Grundwassers nicht in dem Maſse vor sich gehen wird, um durch angemessenes Anschwellen die notwendige Druckerhöhung herbeizuführen und den Modus des bisherigen Gleichgewichts zu erhalten.

Wird jedoch die Anstauung des Wassers den angemessenen Schritt nicht einhalten, so kommt von seiten des Fluſsbettes ein Überdruck zu stande, infolge dessen sich der Strom des Fluſswassers aus dem letzteren in Form einer unterirdischen, sich vom Ufer verbreitenden Welle ausgieſsen wird.

Während sich diese Fluſswasserwelle vom Ufer verbreiten und dem Depressionsbezirke nähern wird, wird sich gleichzeitig das Grundwasser anstauen, so daſs die Höhe der Welle mit Herannahung an den Depressionsbezirk kleiner werden wird.

Befindet sich der Grenzpunkt der Depressionskurve in einer gröfseren Entfernung vom Flufs und ist gleichzeitig der Zuflufs des Grundwassers bedeutend, so kann es dazu kommen, dafs infolge der Anschwellung des Grundwassers, die (durch Überdruck von seiten des Flusses gebildete) Welle verschwindet, und dafs das Grundwasser wieder den Überdruck erreicht und zwar noch, ehe die Welle in das Depressionsgebiet eingedrungen ist.

Infolgedessen wird nicht nur das Vordringen des Flufswassers behindert, sondern das Grundwasser beginnt das Flufswasser wieder allmählich in das Flufsbett zurückzudrängen.

Gelangt jedoch die Welle, noch bevor durch Anstauung des Wassers der notwendige Überdruck erzielt wird, in das Depressionsgebiet, so ist klar, dafs es in diesem Falle zu einer Beimischung des Flufswassers zu dem aus den Sammelstätten geschöpften Grundwasser kommt.

Da nun das Flufswasser im oberen Teile des Flufsbettes Bodenschichten durchdringt, die jeder Filtrierhaut[1]) entbehren, so kommen in diesem Falle alle oben erwähnten Gründe wieder zur Geltung, die beweisen,

---

[1]) Auf Grund der Erfahrungen über die Sandfiltration mufs man annehmen, dafs, wenn sich an den von ansteigendem Wasser überschwemmten Uferschichten eine Filterhaut bilden sollte, dies mehrere Tage auf sich warten liefse. Denn bekanntlich währt es auch bei den Sandfiltern in der ersten Filtrationsperiode einige Tage, ehe sich die Filtrierhaut bildet, wiewohl die Verhältnisse, da die Sandschichte horizontal liegt, im ganzen als günstigere bezeichnet werden können.

dafs die Filtration jenes Flufswassers, das sich in Form einer Welle in das Depressionsgebiet ergossen und daher dem von den Pumpen gehobenen Grundwasser beigemischt hat, ungenügend sein wird.

Infolgedessen ist in diesem Falle wieder keine Bürgschaft gegeben, dafs die eventuell in den betreffenden Flufs vermittels unreiner Zuflüsse eingedrungenen pathogenen Organismen, durch Filtration vor dem Eindringen in die Sammelröhren zurückgehalten werden.

Aus der Schilderung geht gleichzeitig hervor, dafs eine Verminderung oder Einstellung der Wasserentnahme als Hilfsmittel zur zeitlichen Abwendung des schädlichen Einflusses des Flufswassers dienen kann, da hierdurch die Möglichkeit gegeben wird, dafs die Anschwellung des unterirdischen Wassers schneller verlaufe und so der notwendige Überdruck früher erzielt werde.

Desgleichen mufs weiterhin mit Hinblick auf das über die Entstehung und Verbreitung der Flufswasserwelle Gesagte klar sein, dafs sich das Beimischen des Flufswassers in den Depressionsbezirk dauernd nicht erhalten kann, sondern, dafs das Grundwasser zum notwendigen Überdruck angeschwollen, das Flufswasser zuerst aus dem Depressionsbezirk, sodann auch weiter zum Flusse herausdrängen wird.

Infolgedessen fällt freilich wiederum die Ursache der Qualitätsverschlechterung weg und das geschöpfte Wasser erreicht seine ursprüngliche Qualität.

Es erübrigt noch, die Konsequenzen zu besprechen, die zu Tage treten, wenn das im Flusse ansteigende Wasser aus den Ufern tritt.

Hierbei fällt am meisten jener Fall in die Wagschale, wenn das ausgetretene Wasser den Depressionsbezirk erreicht. Es ist klar, dafs unter solchen Verhältnissen aufser der Möglichkeit des unterirdischen Eindringens des Flufswassers auch die Bedingungen für das Durchsickern desselben von oben in das Niveau des Depressionskegels gegeben sind.

Was die Geschwindigkeit und Menge, in welcher das Flufswasser hinunter gelangt, anbetrifft, so hängen beide teils von der Durchlässigkeit der Poren, teils auch von der Druckgröfse ab, welch letztere wiederum von der Höhe der Wassersäule abhängt.

Da hier das Wasser von oben ohne Passierung einer Filterhaut vordringt — die Bildung derselben erfordert eine gewisse Zeit — so ist wiederum klar, dafs hier die Bedingungen zur Beimengung des Flufswassers mit entweder keinem oder gewifs sehr unvollkommenem Filtrationseffekt gegeben sind.

Dafs die angeführten theoretischen Ausführungen richtig sind, beweisen die in Dresden gemachten Erfahrungen.[1])

In Dresden befinden sich Drainagen in einer Länge von 1438 m und 6 Sammelbrunnen in einer Entfernung von 65 m von der Elbe. Bei Entnahme von 40000 cbm Wasser erniedrigt sich das Brunnenniveau blofs um 1.8 m. Bei maximaler Erniedrigung des Wasserspiegels um 2.5 m endeten die Depressionskurven noch etwa 20 m vom Flufsufer und der Überdruck des Grundwassers mafs dem Flufsdrucke gegenüber 14 cm.

---

[1]) Gärtner: Hygien. Rundschau 1897, Nr. 2, 3.

Durch bakteriologische Untersuchung hat dann Renk[1]) das Nachfolgende konstatiert:

Die Mikrobenzahl (festgestellt im Leitungswasser, welches in der Stadt entnommen wurde), schwankte in normalen Zeiten zwischen 20—40[2]) in 1 ccm.

Zur Zeit des erhöhten Wasserstandes wächst die Mikrobenzahl rapid, worauf sich nach einigen Tagen das normale Verhältnis wieder einstellt. Die Vermehrung der Mikroben ist auch bei einer solchen Erhöhung des Flufswasserstandes beobachtet worden, bei welchem das Wasser aus seinen Ufern nicht ausgetreten ist.

Die Vermehrung der Mikroben hält sich bei einem Anstiege bis zu 1 m in engen Grenzen; steigt jedoch das Wasser höher und überschwemmt das ganze Ufergelände und bedeckt auch die Fläche, unter welcher die Sammelröhren liegen, so erhöht sich die Mikrobenzahl auf einige Tausend, und es währt lange, ehe sich die normalen Verhältnisse wieder einstellen. Die Vermehrung der Mikroben ist gleichzeitig von einer Trübung des Wassers begleitet worden.

Die Trübung des Wassers und die Vermehrung der Mikroben stellen sich jedoch nicht ein, wenn das Elbewasser langsam angestiegen ist.

Zur Zeit einer solchen verschlechterten Wasserqualität wurden bei Kindern Intestinalkatarrhe beobachtet.

---

[1]) l. c.

[2]) Würde man das Wasser direkt an der Stelle, an welcher es in den Brunnen einfliefst, untersuchen, so würde man diese Zahl sicherlich kleiner und nahezu der Sterilität nahe finden.

Schmaltz[1]) bringt diese Erkrankung mit der Verschlechterung der Wasserqualität in Zusammenhang. Seine Ausführungen verdienen, wiewohl sie freilich keinen exakten Beweis erbringen, trotzdem grofse Aufmerksamkeit. Besonders ist hervorzuheben, dafs die Coinzidenz der Mortalität mit der Verschlechterung der Wasserqualität sehr bedeutend ist.

Die Ursache der Qualitätsverschlechterung beruht nach Renk[2]) und Gärtner teils darin, dafs das Grundwasser nicht im stande ist, sich schnell genug anzustauen, wodurch die Möglichkeit des Eindringens des Elbewassers in das Uferterrain gegeben ist, teils, dafs die Überschwemmung des Ufers den Depressionsbezirk erreicht.

Ähnlich kann sowohl mit Hinblick auf die Nähe der Flüsse, als auch mit Bezug auf Distrikte mit durchlässigen Kanälen oder Latrinen in einzelnen Fällen nur die Feststellung des Grundwasserstromes oder die Bestimmung des Depressionsbezirkes die notwendige und gebührende Richtung zur Bildung eines richtig motivierten Gutachtens geben. Man kann nun sagen, dafs man in einzelnen Spezialfällen thatsächlich sehr wertvolle Erkenntnisse sammeln kann, und zwar in der Richtung hin, ob z. B. das Grundwasser zum Orte der Wasserentnahme verlauft, während es unter einem durchlässigen Kanal fliefst und denselben kreuzt, oder ob die betreffende unreine Sammelstätte mit Hinsicht auf den Depressionsbezirk so gelegen ist, dafs sie, aufserhalb des Depressionsbezirkes befindlich, sich an einer Stelle vorfindet, an

---

[1]) l. c.

[2]) l. c.

welcher der Grundwasserstrom nicht zur Depression. sondern auf die entgegengesetzte Seite gerichtet ist.

Wenn auch Fälle dieser Art selten sein mögen, so kann man ihnen, wie mir aus eigener Erfahrung bekannt ist, doch in der Praxis begegnen.[1])

Es ist nunmehr an der Zeit, die Hilfsmittel zu besprechen, mit deren Hilfe man zur Kenntnis der herrschenden Verhältnisse des Niveaus und des Stromes der Grundwässer in einem bestimmten Territorium gelangen kann.

In dieser Hinsicht ist vor allem hervorzuheben, dafs die Richtung der Grundwässer in gewissen allgemeinen Zügen bereits auf Grund der geologischen Untersuchung angegeben werden kann.

In einzelnen Fällen kann man sich jedoch eine bestimmte Vorstellung von dem Stande und der Bewegung der Grundwässer auf keine andere Weise bilden, als durch Untersuchung, durch welche das Bild des Grundwasserniveaus festgestellt wird, welche Aufgabe in das Gebiet der sog. hydrotechnischen Arbeiten fällt.

Zur Klarlegung des Prinzipes, auf Grund dessen in diesem Falle gearbeitet wird, sei das Nachfolgende hervorgehoben.

Nehmen wir an, dafs es auf irgendwelche Weise möglich wäre, die Bodenschichten, von welchen das Grundwasser auf einem gröfseren Bezirke bedeckt ist, durchsichtig zu machen; man könnte sich sodann regel-

---

[1]) Ein ähnlicher und zwar sehr prägnanter Fall ist in der oben citierten Abhandlung: Kabrhel, »Ein interessanter Fall von Trinkwasserbegutachtung«, Monatsschr. für öffentl. Gesundheitspflege 1898, behandelt.

mäſsig überzeugen, daſs das Niveau derselben nicht an allen Stellen gleich ist, sondern an einzelnen höher steht als an anderen.

Es ist jedoch weiterhin auch klar, daſs, wenn wir uns einen Punkt des Niveaus von bestimmter Höhe aufzeichnen würden, sich eine ganze ununterbrochene Reihe solcher Punkte ergeben müſste, die, durch eine Linie verbunden, das Bild einer Kurve geben würden.

Es ist weiterhin klar, daſs, wenn wir andere höher oder tiefer liegende Punkte zum Ausgangspunkte wählen würden, auch diesen eine kontinuierliche Reihe von Punkten entsprechen würde, die, untereinander verbunden, wiederum eine Kurve von bestimmter Form ergeben würden.

Würden wir nun das Aufnehmen von den Punkten gleicher Höhe entsprechenden Kurven so einrichten, daſs zwischen den einzelnen der gleiche Höhenunterschied der Wasserspiegel gewahrt bliebe, so erhielten wir eine Reihe verschieden gekrümmter Kurven, die ein genaues Bild des Grundwassergefälles in dem betreffenden Terrain geben würden. Diese Kurven heiſsen Schichtenlinien. Da sich das Wasser von den höher gelegenen Stellen nur zu den niedriger liegenden bewegen kann, so ist klar, daſs, wenn wir eine Reihe von Kurven besitzen, von denen jede gleich hoch gelegene Punkte des Niveaus verbindet, dadurch ein genaues Bild der Stromrichtung des Grundwassers in dem betreffenden Territorium gegeben ist.

Desgleichen ist klar, daſs bei stehenden unterirdischen Wässern der Wasserspiegel eine horizontal gelegene

Fläche bilden wird. Infolgedessen kann man in diesem Falle die Schichtenlinien von einem Punkte in beliebiger Richtung hin führen.

Mit Rücksicht auf das eben dargelegte Prinzip wird die Richtung des Grundwasserstromes durch Niveaumessung in eigens auf dem betreffenden Terrain gebohrten Öffnungen festgestellt oder es werden zu diesem Zwecke die vorhandenen Brunnen verwendet.

Es mufs jedoch gleichzeitig darauf aufmerksam gemacht werden, dafs, da sowohl die Frage der Ergiebigkeit des Grundwassers, als weiterhin auch die Frage der geeigneten Plazierung der Sammelröhren und -Brunnen nur auf Grund genauer Kenntnis der Bodenschichten und der Verhältnisse des Verlaufes und Gefälles der unterirdischen Gewässer sicher und exakt gelöst werden können, so dafs solche Arbeiten bei jeder zweckmäfsig ausgeführten Grundwasserversorgung in Angriff genommen werden müssen, die Resultate, was die Lage der Schichten und das Verhalten des Grundwasserniveaus anbelangt, auch als hygienisches Material mit Bezug auf die Lokaluntersuchung verwendet werden können, so dafs zu diesem letzterem Zwecke keine neuerlichen Auslagen gemacht werden brauchen.

Was die Feststellung betrifft, ob der Depressionskegel mit seinem peripheren Teile das Flufsbett schneidet, so kann zu diesem Zwecke eine verhältnismäfsig einfache Methode gebraucht werden, die darin besteht, dafs in den Flufsbettgrund eiserne Röhren eingelassen werden.

An denjenigen Stellen, die von dem Depressionskegel getroffen werden, könnte man sodann den Wasser-

spiegel in den Röhren tiefer stehen sehen, als das Flufsniveau.

Der Beweis der Beimischung von Flufswasser zu den Sammeleinrichtungen kann jedoch auch auf chemischem Wege geliefert werden, welcher auf der Thatsache basiert, dafs das Grundwasser eine andere chemische Zusammensetzung aufweist als das Flufswasser.

Wenn man also auf irgendwelche Weise bewirken würde, dafs sich das Mischen des Flufs- und Grundwassers in den Sammeleinrichtungen in einem anderen und zwar von unserem Willen abhängigen Verhältnisse vollführt, so müfste das Wasser der Sammeleinrichtungen je nach dem Mischungsverhältnisse auch eine andere chemische Zusammensetzung zeigen.

Die Änderung des Mischungsverhältnisses kann in einzelnen Fällen durch verschieden gewählte Intensitäten der Wasserentnahme erzielt werden. Würde man z. B. die Wasserproben zur Zeit der regelmäfsigen intensiven Abschöpfung nehmen, bei welcher die Depressionskurve das Flufsbett schneidet, und würde man darauf die Wasserentnahme auf den möglichst niedrigsten Grad vermindern, teils damit der Depressionsbezirk sich so schnell als möglich von dem Flusse entfernte, teils dafs sich eine möglichst kleine Depressionskurve bilde, und zugleich in gewissen Zeitintervallen Wasserproben nehmen, die den verschiedenen Wasserständen im Sammelbrunnen entsprächen, so ist klar, dafs in solchen Fällen das Mischungsverhältnis des Grund- und Flufswassers ein anderes sein wird und dafs es auch in der chemischen Analyse gehörigen Ausdruck finden wird.

Denn erinnern wir uns z. B., unter welchen Verhältnissen die anfängliche und die letzte Probe genommen worden sind, so sehen wir, daſs in der ersten Probe am meisten Fluſswasser vorhanden sein muſs (die Depression kreuzte das Fluſsbett), während in der letzten wenig oder überhaupt kein Fluſswasser enthalten ist, weil in diesem Falle genug Zeit gegeben war, damit die im Depressionsbezirke enthaltene Mischung von Fluſs- und Grundwasser von dem Strome des Grundwassers völlig verdrängt werden könne.

Infolgedessen wird freilich die Anfangsprobe eine andere chemische Zusammensetzung aufweisen als die letzte Probe; die übrigen, nacheinander in verschiedenen Intervallen genommenen Proben werden den Übergang vermitteln müssen. Was die Unterschiede anlangt, so werden sie sich hauptsächlich in der Härte und in der Menge der Salpetersäure, eventuell auch in der Menge der organischen Substanzen manifestieren.

Auf Grund eines analogen Prinzipes kann manchmal die Messung der Temperatur des Brunnenwassers (besonders auch an verschiedenen Orten des Brunnens) unter Umständen, in welchen man die Intensität der Wasserentnahme wechseln läſst, mit Erfolg angewendet werden.[1])

Auch die Beobachtung des Verhaltens der Temperatur des Brunnenwassers zu verschiedenen Jahreszeiten kann wertvolle Erkenntnisse liefern, da das aus gröſseren Tiefen stammende Grundwasser konstante Temperatur besitzt.

[1]) Diese beiden Methoden, sowohl die chemische als auch die thermische, hat der Verfasser in der oben citierten Abhandlung angewendet.

Ich glaube hiermit die Frage der Beimischung des Flufswassers zum Grundwasser der Sammeleinrichtungen, die in nicht grofser Entfernung vom Flufsbette angelegt sind, in gebührendem Mafse dargelegt zu haben; es erübrigt also blofs, zu erwähnen, was noch in die Aufgabe der Lokaluntersuchung fällt.

Hierher gehört noch, festzustellen, ob in eine Quelle oder in einen Brunnen keine unreine Zuflüsse von oben oder von den Seiten direkten Zutritt haben. Dabei mufs man freilich im Auge behalten, dafs diese Zuflüsse nur in gewissen Perioden eindringen können, so dafs die Verschlechterung des Grundwassers, durch welches der Brunnen oder die Quelle genährt wird, nicht dauernd sein mufs, sondern nur periodisch auftreten kann.

Bei den Brunnen mufs zu diesem Zwecke vor allem die Art der Ummäuerung, bei den Quellen, ob die Art ihrer Fassung nach allen Richtungen hin entspricht, untersucht werden. Des weiteren ist festzustellen, wie die Oberfläche um den Brunnen herum beschaffen und wie um die Ableitung des überschüssigen Wassers gesorgt ist. Es empfiehlt sich eventuell, an den Wänden der Mäuerung nach Flecken zu suchen, als zurückgebliebenen Spuren, die durch Eindringen solcher unreiner Zuflüsse entstanden sind.

Untersuchung des Filtrationseffektes.

Als vorläufige Untersuchung empfiehlt sich zum Zwecke der Feststellung des Filtrationseffektes, wie ich unzähligemale Gelegenheit hatte mich zu überzeugen, sehr gut die Klarheitsprüfung. Dieselbe ist, wie

bereits oben erwähnt wurde, mit Hilfe einer grofsen, etwa 10 l fassenden Flasche durchzuführen. Handelt es sich um sehr feine Trübungen, so ist freilich zu deren Erkennen eine gewisse praktische Erfahrung und Übung notwendig.

Es mufs weiterhin nachdrücklich hervorgehoben werden, dafs, wenn wir aus konstatierten Trübungen Schlüsse auf den Filtrationseffekt des Bodens ziehen wollen, jede andere zufällig entstandene Trübung ausgeschlossen werden mufs.

Solche zufällige Trübungen können vorhanden sein, wenn das Wasser z. B. mit Hilfe einer hölzernen Pumpe geschöpft wird. Weiterhin entstehen sie auch dadurch, dafs sich das Wasser infolge direkten Eintauchens des Gefäfses getrübt hat (z. B. bei einer Quelle mit kleiner Wassersäule) oder dafs bei forcierter Abschöpfung mit der Pumpe die erdigen Bestandteile des Brunnengrundes in Bewegung gesetzt werden u. s. w.

Als wichtigstes Hilfsmittel dienen zur Feststellung des Filtrationseffektes der Grundwässer Methoden, die auf bakteriologischen Untersuchungen beruhen und von denen die nachfolgenden die wichtigsten sind:

a) Nach C. Fränkel[1]): In das fragliche Terrain wird ein sog. Röhrenbrunnen — sonst auch Nortonbrunnen genannt — getrieben. Sodann wird der ganze Röhrenbrunnen gründlich sterilisiert, was sich am zweckmäfsigsten mit heifsem Dampfe bewerkstelligen läfst. Zu diesem

---

[1]) Zeitschrift für Hygiene Bd. VI.

geringste Trübung vermieden werden mufs); bei Wasserwerksbrunnen aus dem nächsten Ausflusse (Hahne).

Auf dieser Grundlage beruht auch der Vorschlag von Gruber[1]), nach welchem bei Brunnen, in die der Zuflufs in Form von kleineren Quellen geschieht, das Niveau herabgedrückt wird, bis die Quellen frei gelegt sind, wonach aus ihnen das Wasser nach den üblichen Regeln in vorbereitete sterilisierte Gefäfse fliefsen gelassen wird, um nachher bakteriologisch untersucht zu werden.

In Fällen, in welchen es sich um ein durch direkte Einflüsse oder auf Grund ungenügender Bodenfiltration verunreinigtes oder gar durch infektiöse Eigenschaften verdächtiges Wasser handelt, wird die Wasserprobe sowohl auf die bezüglichen pathogenen Mikroben, als auch auf Fäulnismikroben bakteriologisch untersucht.

Auf einem völlig abweichenden Prinzipe — bei allen bisher angeführten Methoden bildet nämlich die Untersuchung des Filtrates (d. i. des Wassers) den Gegenstand der diesbezüglichen bakteriologischen Untersuchung — beruht der von Kabrhel[2]) vorgeschlagene Untersuchungsmodus.

Nach demselben wird zum Zwecke der diesbezüglichen Trinkwasserbegutachtungen nicht das Wasser (Filtrat), sondern Bodenproben (Filtermasse) bakteriologisch untersucht, die aus stets gröfseren Tiefen an jenen Stellen genommen wurden, um deren Grundwasser es sich handelt. Durch Untersuchung der Bodenproben wird festgestellt,

---

[1]) Diese, bereits vor mehreren Jahren projektierte Methode, teile ich an dieser Stelle zum erstenmale mit.

[2]) D. Vierteljahrschrift f. öff. Gesundheitspflege Bd. 25, S. 415.

in welchem Maſse an der betreffenden Stelle, um deren Brunnen oder überhaupt Grundwasser es sich handelt, die Bakterien in die Tiefe abnehmen, d. h. eben der Filtrationseffekt. Die Probeentnahme muſs natürlich nach den für die bakteriologische Untersuchung des Bodens geltenden Regeln und Methoden (Fränkel) vorgenommen werden.

Die eben angeführte Methode wäre namentlich bei gewissen speziellen schwierigen Begutachtungen anzuwenden, z. B. wenn es sich um die Entscheidung der Frage handeln würde, ob von einem unreinen Orte (Latrine), in dessen Nähe ein Brunnen sich befindet oder gegraben werden soll, die Möglichkeit des Eindringens von Mikroben des Kanalinhaltes in das Grundwasser gegeben ist.

Es ist einleuchtend, daſs durch Bohrungen und Probeentnahme in der unmittelbaren Umgebung des betreffenden unreinen Ortes man verhältnismäſsig leichter als durch andere Methoden genaue Kenntnis von dem Filtrationseffekte an jener Stelle erlangen kann.

Desgleichen bietet diese Untersuchungsmethode bedeutende Vorteile in Fällen, in welchen man das Wasser von Schachtbrunnen begutachten soll und zwar schon zu einem Zeitpunkte, in welchem eben bei dem Tiefen des Brunnens die Wasser führenden Schichten erreicht werden, ein Fall, der in der Praxis nicht selten vorkommt.

Hier gelangt man zum Ziele verhältnismäſsig leicht durch seitliche Bohrungen in die Brunnenwände in verschiedenen Tiefen und durch bakteriologische Untersuchung der gewonnenen Bodenproben.

Denn bei Methoden, bei denen sich die Untersuchung des Filtrationseffektes auf das Wasser richtet, wird dieselbe in dem angeführten Falle dadurch sehr erschwert, dafs das Wasser des eben ausgetieften Brunnens durch fremde Mikroben, die den wasserführenden Schichten nicht entstammen, aufserordentlich verunreinigt sein kann, so dafs selbst eine sehr intensive Abschöpfung, solange die Fassungsmauer nicht hergerichtet ist, nicht im stande ist, dasselbe von den fremden Mikroben zu befreien.

Als Aushilfsmethode können in einzelnen Fällen zur Entscheidung der Frage, ob die Bodenfiltration mit Bezug auf das Zurückhalten von Mikroben nicht vollkommen ist, einigermafsen auch die chemischen Befunde verwertet werden.

Denn meiner Ansicht nach, der ich in einem vorhergehenden Absatze den gehörigen Ausdruck gegeben habe, kann aus dem Befunde von Ammoniak oder salpetriger Säure, sobald ein anderer als animalischer Ursprung ausgeschlossen ist, der Schlufs gezogen werden, dafs dem Grundwasserniveau durch Exkrementenbestandteile verunreinigte Bodenschichten nahe sind und dafs somit infolge der ungenügenden Filtrationsfähigkeit des Bodenfilters in Bezug auf die Bakterien die Möglichkeit des Durchdringens von pathogenen Mikroben in den Bereich der vom Grundwasser erfüllten Schichten gegeben ist.

Was die Frage betrifft, ob das Ammoniak oder die salpetrige Säure animalen Ursprunges ist, so ist klar,

dafs die zum Entscheid derselben nötigen ausschlaggebenden Erkenntnisse unschwer durch Lokaluntersuchung herbeigeschafft werden können.

Gleichzeitig mufs jedoch wiederum hervorgehoben werden, dafs aus der Nichtauffindung dieser Verbindungen noch keinesfalls auf das Vorhandensein von geeigneten Filtrationsschichten geschlossen werden kann.

In Bezug auf die Frage, wann und welche von den angeführten Untersuchungsmethoden in der Praxis zu wählen sind, mufs, wie unnötig wäre des Näheren auszuführen, als Hauptprinzip gelten, dafs man zum Urteile auf Grund möglichst einfach gewählter Untersuchungsmethoden gelangen soll.

Indem wir dieses Prinzip im Auge behalten, heben wir uns z. B. die Methode, bei welcher die Sterilität der unterirdischen Wässer mit Hilfe eines in den Boden getriebenen Nortonbrunnens untersucht wird, auf solche Fälle auf, die entweder durch ihre innere Beschaffenheit ungewöhnlich schwer zu lösen sind, sodafs man auf eine andere Weise zu einem bestimmten Schlufs nicht zu gelangen vermag, oder bei welchen die Nortonbrunnen bereits aus anderen Gründen in das Terrain getrieben worden sind (z. B. zur Bestimmung der Ergiebigkeit), so dafs ihre Verwendung zu bakteriologischen Untersuchungen keinen besonderen Schwierigkeiten begegnet. Es braucht nicht angeführt zu werden, dafs, wenn wir auch die Schwierigkeiten der Ausführung selbst übergehen, besonders die grofsen finanziellen Kosten die Applikation dieser Methode in der gewöhnlichen Praxis unmöglich machen.

Die Benützung der Nortonbrunnen wird jedoch weiterhin auch durch den geologischen Charakter der Schichten selbst beschränkt, da die Verwendung derselben zu dem angeführten Zwecke in felsigem Terrain ausgeschlossen ist.

Unter die am leichtesten zugänglichen und durchführbaren Methoden der Bestimmung des Filtrationseffektes gehört jene, bei welcher der bakteriologischen Untersuchung eine während intensiven und ununterbrochenen Wasserwechsels[1]) im Brunnen oder in der Quelle entnommene Wasserprobe unterworfen wird. Entstammt das Wasser sterilen Bodenschichten, so wird sich, wie oben gezeigt wurde, die Mikrobenmenge der Sterilität nahen Grenzen nähern.

Diese Methode kann in der Mehrzahl der Fälle mit Erfolg angewendet werden, und zwar hauptsächlich bei Quellen und Wasserwerksbrunnen[2]), jedoch auch bei Brunnen mit Handschöpfung.

In die Kategorie der leichter ausführbaren Methoden gehört auch die chemische Prüfung auf Ammoniak und salpetrige Säure, aus welcher, wie oben gezeigt wurde, in einzelnen Fällen auch auf ungenügende Filtrations-

---

[1]) Siehe S. 89 und 157.

[2]) Wird das Wasser durch Wasserleitungen weitergeleitet, so mufs darauf geachtet werden, dafs, indem in der Röhrenleitung ebenso wie im Brunnen die Bedingungen für die Wucherung vieler Mikroben gegeben sind, die diesbezügliche Wasserprobe, um ein klares Bild zu erhalten, direkt aus dem Brunnen oder wenigstens aus dem nächsten Ausflufsrohre, aus dem man das Wasser längere Zeit jäh abfliefsen läfst, entnommen werden mufs.

fähigkeit des Bodens betreffs der Bakterien und daher auf die Nichtsterilität der wasserführenden Schichten geschlossen werden kann.

Dieses Hilfsmittel ist nach meinen Erfahrungen in einzelnen komplizierten Fällen, besonders, wenn es sich z. B. um felsige Formationen handelt, die kein zusammenhängendes Filter bilden und wo also die durch Lokaluntersuchung festgestellte Stärke des Bodenfilters keine ganz bestimmte und feste Grundlage für die weiteren Schlüsse bildet, nicht zu unterschätzen, und zwar um so weniger, als bei Wasserbegutachtungsfragen in der Praxis nicht immer kostspielige Methoden angewendet werden können und auch aus dem Grunde, weil die Durchführung vieler oben angeführter Methoden in gewissen Terrains überhaupt unmöglich oder doch mit grofsen Hindernissen verbunden ist.

Zu den zugänglichsten Hilfsmitteln gehört in der gröfsten Zahl der Fälle auch die Methode der Lokaluntersuchung. In einzelnen komplizierten Fällen stöfst man freilich auch bei der Anwendung derselben auf grofse Schwierigkeiten, so dafs eine genaue Messung des Grundwasserniveaus in Bohrlöchern und eine Feststellung der Filtrierschichten unumgänglich nötig erscheint.

Unter Umständen kommen in der Praxis, und zwar nicht selten, Fälle vor, in welchen (freilich bei einiger Erfahrung) bereits auf Grund der blofsen Lokaluntersuchung leicht und schnell ein bestimmtes Urteil bezüglich der Sterilität oder Nichtsterilität der unterirdischen Gewässer ausgesprochen werden kann, so dafs man den bakteriologischen Befund, resp. die diesbezüglichen

Belege der Sterilität mit völliger Sicherheit vorhersagen kann.

Ich mufs jedoch auf Grund meiner Erfahrungen die Behauptung aussprechen, dafs in vielen Fällen die Richtung und Art der Untersuchung, sowie die Wahl der geeigneten Zeit und Methoden, die im gegebenen Falle am leichtesten zum Ziele führen würden, nur auf Grund der Lokaluntersuchung festgestellt werden kann.

Als Beweis kann in dieser Richtung namentlich die Frage der Feststellung von Beimengung des Flufswassers zum Grundwasser der Sammeleinrichtungen dienen. Denn würde man in einem solchen Falle die chemische und physikalische[1]) (Temperaturmessungen) Methode anwenden, so könnte dies zweckmäfsig nur unter gleichzeitiger Beachtung des Verhaltens des Wasserniveaus im Sammelbrunnen und im Flusse geschehen, in welchem Falle eben die Intensität der Abschöpfung **einmal** so gewählt sein mufs, dafs in den Brunnen nur das Grundwasser Zutritt hätte (dies wird erreicht, wenn man das Niveau des Brunnenwassers bei der Abschöpfung über dem des Flusses erhält), während ein **anderesmal** mit jener Depression im Brunnen gearbeitet wird, die der gewöhnlichen Intensität der Wasserentnahme entspricht. Gleichfalls ist völlig ersichtlich, dafs sich die Anwendung der bakteriologischen Methode zum Nachweise der Qualitätsverschlechterung in dem angeführten Falle auch an gewisse lokale und zeitliche Verhältnisse anschliefsen müfste.

[1]) In der oben citierten Abhandlung des Verfassers kamen thatsächlich diese beiden Methoden in Verwendung.

Es ist ja klar, daſs die zur Zeit der normalen Stände, ja selbst bei erhöhtem Fluſswasserstande, genommene bakteriologische Probe uns überhaupt keinen Aufschluſs geben würde, wenn dieselbe während einer derartig verminderten Wasserentnahme, bei welcher das Niveau im Sammelbrunnen höher stünde als im Flusse, oder in einer Zeitperiode, in welcher der erhöhte Wasserstand im Flusse längere Zeit anhalten würde, genommen wäre.

Ein anderer derartiger Fall, in welchem die Lokaluntersuchung Direktive gibt zur Art der Ausführung der Untersuchungen, kann eintreten, wenn man auf Grund der Lokaluntersuchung gewisse Zweifel oder Verdacht in Bezug auf ungenügende Filtrationsfähigkeit der Bodenschichten schöpfen kann.

Zur näheren Erklärung kann das nachfolgende Beispiel dienen:

Es handelte sich um eine Quelle, deren Wassergebiet in den Hauptzügen den nachfolgenden Charakter trug: Auf der Oberfläche eine Schichte sandiger Ackererde. Die Stärke derselben in den höher gelegenen Partien des Wassergebietes zumeist etwa 15—20 cm. In den tiefer gelegenen Partien desselben ist diese Sandschichte etwas stärker und erreicht an der Stelle, wo sich die Quellfassung befindet, etwas über 1 m Stärke. Diese Sandschichte ruht auf einer felsigen Urgebirgs-Unterlage. Die Quelle ist technisch vollkommen richtig gefaſst, so daſs jedes Durchsickern von oben an diesen Stellen gänzlich ausgeschlossen ist. Die Fläche des Wassergebietes wird als Feld zu landwirtschaftlichen Zwecken benützt.

Von der Fassungsstelle wird das Wasser durch eine glasierte Thonröhrenleitung zum Reservoir geleitet. Mit Rücksicht auf den Lokalbefund wurde zur bakteriologischen Untersuchung ein Zeitpunkt gewählt, in welchem die Filtriergeschwindigkeit der in den Boden einsickernden Niederschläge erhöht war, d. h. eine länger andauernde Regenzeit.

Das zu dieser Zeit der Quelle in ein grofses Gefäfs entnommene Wasser zeigte deutliche Trübung.

Bei der bakteriologischen Untersuchung der regelrecht genommenen Wasserprobe, von welcher gleich nach der Entnahme an Ort und Stelle die nötigen Platten gegossen wurden, zeigte in 1 ccm 1090 Keime, wodurch der evidente Beweis eines ungenügenden Filtrationseffektes und somit auch der ungenügenden Filtrationsfähigkeit der in diesem Wassergebiete befindlichen Bodenschichten geliefert worden ist.

Aus dem Angeführten geht sicherlich zur Genüge hervor, dafs zur Bildung eines richtigen Urteiles nicht nur die Lokaluntersuchung unumgänglich notwendig ist, sondern dafs überhaupt die Lokaluntersuchung allen übrigen Untersuchungsmethoden vorausgehen mufs, da dieselbe unter Umständen die Grundlage bildet, ohne welche ein sicherer Fortgang der Untersuchung und Beurteilung absolut unmöglich ist.

Die Lokaluntersuchung mufs freilich in der Regel noch durch die aus der bakteriologischen Untersuchung hervorgehenden Daten vervollständigt werden, die uns direkte Nachricht geben, ob der Filtrationseffekt des

Bodens vollkommen ist, oder mit anderen Worten, ob das unterirdische Wasser sterilen Bodenschichten entstammt oder nicht. In Eventum werden zu diesem Zwecke auch die Ergebnisse der chemischen Untersuchung verwendet.

Der Grund, dafs die Lokaluntersuchung in der Regel eine Vervollständigung in der angegebenen Richtung hin erheischt, ist in dem Nachfolgenden zu suchen:

Die Lokaluntersuchung, die, wie oben dargelegt wurde, sich teils auf die Feststellung der Orte, von welchen pathogene Mikroben eindringen könnten, teils auf die Bestimmung der die Bodenoberfläche von dem Grundwasserniveau scheidenden Bodenschichten bezieht, bringt eben nicht immer auf die Hauptfrage, wie es mit dem Filtrationseffekt des Bodens bestellt sei (und ob das Grundwasser sterilen Schichten entstamme), Angaben von solch absolut sicherem Werte, dafs aus denselben für jeden Beobachter eine gleich bestimmte Beantwortung der oben gestellten Frage resultieren müfste. Es ist daher klar, dafs die Verwertung der durch die Lokaluntersuchung gewonnenen Thatsachen zum Zwecke einer Urteilsbildung mit Bezug auf die Frage, ob der Filtrationseffekt des Bodens vollkommen ist oder nicht, einen in bedeutendem Mafse subjektiven Charakter besitzen kann.

Freilich in einzelnen leichten und ganz klaren Fällen kann der betreffende Schlufs für jeden Beobachter von derselben und gleichen Bestimmtheit sein, so dafs unter solchen Umständen der Charakter der durch die Lokaluntersuchung gewonnenen Thatsachen den Wert eines Kriteriums von absoluter Geltung besitzt.

Aus dem Angeführten geht hervor, dafs, wenn ein von der subjektiven Auffassung freies Urteil gefällt werden soll, zu dessen Stützung noch solche Belege verwendet werden müssen, welche die Eigenschaften eines in vollem Mafse objektiven Kriteriums besitzen.

Derartige Belege liefert uns nun die Untersuchung des Filtrationseffektes des Bodens mit Hilfe der bakteriologischen und eventuell auch chemischen Methoden (positiver Befund von Ammoniak oder salpetriger Säure animalischen Ursprunges).

Desgleichen geht mit Hinblick auf das, was über die verschiedenen komplizierten Beziehungen der Angaben der bakteriologischen und chemischen Untersuchung zur Frage des endgültigen Urteiles angeführt wurde, hervor, dafs auch die bakteriologische und chemische Untersuchung allein zur Bildung eines richtigen Schlusses nicht ausreicht, sondern dafs die bakteriologischen und chemischen Angaben erst bei Berücksichtigung der Ergebnisse der Lokaluntersuchung gebührende Beleuchtung und Verwertung und daher auch die entsprechende und richtige Würdigung erfahren können.

Sollte ich dies durch ein Beispiel klarlegen, so würde ich sagen, dafs mir die Bildung von Urteilen ohne Rücksichtnahme auf die Lokaluntersuchung wie ein Herumtappen im Dunkeln mit zugebundenen Augen vorkommt.

Aus dem Angeführten geht daher hervor, dafs **eine richtige Beurteilung der Quell- oder Brunnenwässer nur auf Grund einer planmäfsig durchdachten Aneinanderreihung der auf dem Wege der lokalen, bakteriologischen und chemischen**

Untersuchung gewonnenen Resultate einzig denkbar und möglich ist, wobei die mit Hilfe dieser verschiedenen Methoden erzielten Ergebnisse einander, sozusagen, **kontrollieren.**

Geschieht dies nicht und spricht z. B. der Chemiker oder Bakteriologe, jeder ohne Rücksicht auf die Resultate des Anderen und ohne Rücksicht auf die Lokaluntersuchung, sein Urteil gesondert aus, so ist nicht zu verwundern, wenn diese Urteile einander widersprechen, so dafs nicht nur die Partei, die das Wasser untersuchen liefs, nicht weifs, woran sie eigentlich ist, sondern dafs überhaupt jene Urteile unrichtig sind, indem sie den wahren Stand der Dinge nicht klarlegen.

Nachdem wir in dieser Weise jene zwei prinzipiell verschiedenen Eventualitäten, mit welchen bei der Begutachtung in der Praxis gerechnet werden mufs, besprochen und zugleich die Wege und Hilfsmittel angegeben haben, mit deren Hilfe bei jeder derselben sichere Schlüsse erlangt werden können, dürfen wir nicht mit Stillschweigen übergehen, dafs manchmal Fälle vorkommen können, die weder in die erste noch in die zweite oben angeführte Kategorie einzureihen sind und die, sozusagen, das Mittelding zwischen beiden bilden.

Ich beziehe mich des besonderen auf solche Wassergebiete von Quellwässern, bei welchen die kontinuierliche, poröse, auf wasserundurchlässiger Thon- oder Felsunterlage ruhende Filterschichte im Ganzen schwach ist,

so daſs dieselbe an vielen Stellen kaum 1 $^1/_2$ m (eventuell 20—50 cm) Stärke erreicht, wo aber zugleich die Oberfläche von Feld, Wiese oder Wald bedeckt ist, welches Terrain (wiewohl es sonst im hygienischen Sinne als sehr rein bezeichnet werden muſs), trotzdem in einzelnen Perioden Verunreinigungen durch menschliche und tierische Abfallstoffe ausgesetzt ist.

Vor allem ist klar, daſs unter solchen Umständen das die Quelle versorgende Wasser im gröſsten Teile des Wassergebietes oder eventuell in dessen ganzem Bezirke nicht sterilen, keimfreien Bodenschichten entstammen wird. Mit Rücksicht darauf muſs freilich die Möglichkeit zugelassen werden, daſs, wenn auf jene Stellen des Wassergebietes, an welchen die zusammenhängende poröse Filterschichte bedeutend schwach ist, durch Vermittlung der Abfallstoffe pathogene Mikroorganismen gelangen würden, ein Bruchteil derselben auch in die wasserführende Schichte gelangen könnte.

Es frägt sich nun, ob bei diesem Stand der Dinge zur Erreichung des Zweckes, nämlich damit das Wasser der an Trinkwässer gestellten Hauptforderung, daſs es keinerlei Infektionskrankheiten hervorrufen darf, entspräche, auch in diesem Falle an der Forderung der Sterilität der wasserführenden Schichten zu verharren ist.

Es ist freilich sicher, daſs, wenn man auch in solchen Fällen bei der Urteilsbildung nach dem oben hervorgehobenen Prinzipe vorginge, ganz zweifellos die Möglichkeit ausgeschlossen wäre, daſs ein Wasser im Sinne der die Hervorrufung von Infektionskrankheiten betreffen-

den Forderung approbiert werden würde, wenn es dies etwa nicht verdienen sollte.

Es mufs jedoch auch die Frage erwogen werden, ob man bei einem solchen Standpunkte nicht das notwendige Mafs überschreiten würde, was dann andere, im Sinne des Fortschrittes der öffentlichen Gesundheitspflege unwillkommene Wirkungen und Konsequenzen nach sich ziehen könnte.

Man mufs nämlich im Auge behalten, dafs bei Vorgehen nach dem angeführten Prinzipe in vielen Landschaften die Versorgung mit Quell- oder Grundwasser überhaupt undurchführbar wäre, was eine Stagnation in der Erbauung von Wasserleitungen oder einen Druck zu gunsten der durch centrale Sandfiltration gereinigten Oberflächenwässer nach sich ziehen müfste, welches Hilfsmittel, obschon eine ausgezeichnete Erfindung, doch erst dann in Thätigkeit zu treten berechtigt ist, wenn das Anschaffen von Quell- oder Grundwasser unüberwindlichen Hindernissen begegnet.

Meiner Ansicht nach, die ich sogleich genau begründen werde, ist ein solcher Standpunkt, nach welchem alle Wassergebiete mit schwächeren, zugleich aber selten verunreinigten Filtrierschichten, aus dem Grunde, dafs die wasserführenden Schichten nicht steril sind, schon a priori bei der Frage der Wasserversorgung ausgeschlossen werden sollten, nicht für richtig zu halten.

Zu diesem Zwecke müssen wir uns wieder gewissen, aus der Sandfiltration hervorgehenden Erfahrungen zuwenden.

Zu diesem Ziele mufs vor allem dargelegt werden, welch eine Filtrations-Leistungsfähigkeit die Sandfilter

besitzen, eine Frage, die durch die Versuche von Fränkel-Piefke[1]) und Kabrhel[2]) gebührend klargestellt worden ist.

Auf Grund der Versuche von Kabrhel[3]) ist der mittlere wirkliche[4]) Filtrationseffekt in dem Stadium, in welchem die Sandfilter den vollkommenen Grad der Leistungsfähigkeit erreichen, mit 7000 : 1 zu bewerten, d. h. von 7000 Mikroben des auf das Filter gelangten Wassers geht bloſs einer in das filtrierte Wasser über.

Es muſs jedoch hervorgehoben werden, daſs der Gang der Sandfiltration in der Praxis, wenigstens solange man mit der einfachen Filtration arbeitet, bei dem erwähnten Filtrationseffekt 7000 : 1 nicht kontinuierlich erreicht werden kann, sondern daſs sich zeitweise, selbst wenn der Betrieb der Sandfiltration in technischer Beziehung mit gröſster Umsicht geleitet und bewacht wird, aus gewissen Gründen, die an dieser Stelle nicht erörtert werden können, der Filtrationseffekt doch in bedeutendem Maſse verschlechtern kann.

Im Stadium der nicht ganz vollkommenen Filtrationsfähigkeit ist der Filtrationseffekt freilich bedeutend

---

1) Zeitschr. f. Hygiene Bd. VIII S. 1.

2) Archiv f. Hygiene Bd. XXII S. 323.

3) l. c. S. 345.

4) Ich nenne das Verhältnis, welches ausdrückt, wieviel Mikroben von einer gewissen Anzahl derselben durch das Filter dringen, den wirklichen Filtrationseffekt. Das durch die in dem auf das Filter kommenden Wasser befindliche Mikrobenzahl und durch die in dem vom Filter kommenden Wasser enthaltene Keimzahl ausgedrückte Verhältnis bezeiche ich als Indikator des Filtrationseffektes bei der Sandfiltration.

schlechter. Werte von 1000 : 1, eventuell noch niedrigere, können, wie die Versuche von Piefke-Fränkel[1]) beweisen, unter solchen Umständen leicht in Erscheinung treten.

Aus dem Angeführten geht hervor, dafs also auch bei der Sandfiltration der Filtrationseffekt nicht absolut ist, d. h. dafs ein gewisser Bruchteil der Mikroben, je nach der Vollkommenheit der Filtration, doch durch die Filter tritt.

Gleichzeitig mufs jedoch beachtet werden, dafs die zur Filtration gebrauchten Wässer gewöhnlich Flufswässer sind und dafs in diese namentlich durch Vermittlung von Kanälen menschliche und tierische Abfallstoffe regelmäfsigen Zutritt haben.

Es frägt sich daher, wie sich bei einem solchen Stand der Dinge die Sandfiltration mit Bezug auf die Verhütung gewisser Infektionskrankheiten, und zwar hauptsächlich Cholera und Typhus, bewährt hat. Antwort auf diese Frage geben epidemiologische Beobachtungen. Diese bringen nun Belege dafür, dafs durch die Sandfiltration die Oberflächenwässer derartig verbessert werden können, dafs sie ihre Gefährlichkeit in Bezug auf die Verbreitung von Infektionskrankheiten einbüfsen.

Das markanteste Beispiel, das zum Beweise dieser Behauptung angeführt werden kann, bildet Altona im Cholerajahre 1892. In Bezug auf diese Stadt ist bereits oben mitgeteilt und dargelegt worden, dafs Altona, obwohl es Wasser aus der Elbe an Stellen entnahm, die

[1]) l. c. S. 33—39.

niedriger lagen als die Mündungen der Hamburger Kanäle, doch von der Cholera unberührt blieb, da für eine sorgfältig durchgeführte Sandfiltration gesorgt war, während Hamburg so von derselben betroffen wurde, daſs die Cholera unzählige Opfer forderte.

Aus dem Angeführten geht hervor, daſs, wenn auch dem bei der Sandfiltration erzielten Filtrationseffekt gewisse Mängel innewohnen, doch auch bei Anwendung von ziemlich verunreinigten Fluſswässern zur Filtration, die Qualität der filtrierten Wässer sich in hygienischer Beziehung sehr gut bewährt hat.

Werden wir nun solche Quellwässer, deren Wassergebiet Stellen mit schwächeren Filtrationsschichten enthält — auf welches jedoch Abfallstoffe nur selten Zutritt finden —, unter dem Gesichtswinkel der Sandfiltration beobachten, so können wir leicht zu dem Schlusse gelangen, daſs die aprioristische Abweisung von Wässern solcher Wassergebiete aus dem Grunde, weil die wasserführenden Schichten nicht steril sind, nicht als richtig und gebührend begründet anerkannt werden kann.

Denn auf Grund des Angeführten muſs für bewiesen gehalten werden, daſs 1. das Wasser auch bei gewissen Mängeln des Filtrationseffektes für zulässig gehalten werden kann, 2. daſs dem Mangel des Filtrationseffektes desto geringere Bedeutung zukommen muſs, je geringer der Grad der Verunreinigung sein wird.

Hiermit ist der Beweis geliefert, daſs durch bloſse Konstatierung gewisser Mängel der Filtrierfähigkeit noch kein genügendes Kriterium zur Lösung der Frage, ob ein Wasser zur Benützung als Trinkwasser zugelassen

werden kann, gegeben ist, sondern dafs darauf gesehen werden mufs, wie grofs die Aufgabe ist, die im gegebenen Falle der Filtration auferlegt wird, d. h. wie grofs der Grad der Verunreinigung ist, und wie grofse Mängel in Bezug auf die Filtrationsfähigkeit bestehen.

Gelangt man jedoch bei der Beurteilung von in diese Kategorie fallenden Fällen zu diesem Standpunkte, so kann man, wie ich Gelegenheit hatte, mich zu überzeugen, durch weitere genauere Würdigung ihrer einzelnen Eigenschaften, neue Gründe und Momente entdecken, die jenem aprioristisch verneinendem Standpunkte gleichfalls widersprechen.

Zur leichteren Erklärung dieser Behauptung will ich als Beispiel die lokalen Verhältnisse der nachfolgenden Quelle anführen:

Das Wassergebiet besteht in der Umgebung der Stelle, an welcher die Quelle hervortritt, aus Feldern, die von ihrer Mündung allmählich in die Höhe steigen, worauf sie, weiterhin ansteigend, in der Entfernung von etwa 1 km, in ein bewaldetes Terrain übergehen.

Die Quelle tritt auf einem Abhange zu Tage, der sich an dieser Stelle jäh zu einer Höhe von etwa 2 m erhebt und ist vor ihrer Mündung in das kleine primitive Bassin von einer ca. 2 m starken lehmig-sandigen Schichte bedeckt. Auf der Sandschichte befindet sich eine dünne Schichte Ackererde.

Die Sandschichte ist jedoch nicht auf dem ganzen Wassergebiete 2 m stark, sondern verjüngt sich in der Richtung nach oben, so dafs man in den oberen Partien des Wassergebietes bereits in der Tiefe von 30 bis 40 cm

unter der Oberfläche (eventuell auch weniger) auf die felsige Unterlage stofsen kann.

In dem angeführten Beispiele ist vor allem zu sehen, dafs in den der Mündung nahen Stellen die Filtrierschichte ziemlich (ca. 2 m) stark ist. Nehmen wir also an, dafs auf die Oberfläche dieser Schichten in der Zeit des Düngens (das bekanntlich durchschnittlich in drei Jahren einmal vorgenommen wird) pathogene Mikroben gelangen würden, so kann man gewifs mit Sicherheit annehmen, dafs sie hier nicht in die wasserführenden Schichten gelangen, da an dieser Stelle die Filterschichte etwa 2 m stark ist.

Gleichzeitig mufs man jedoch im Auge behalten, dafs man in diesem Falle aus gewissen Gründen an die Möglichkeit der Nichtsterilität so tief gelegener Schichten denken kann, wenn auch die Filterschichte an dieser Stelle 2 m, d. h. so stark ist, dafs man (nach den Versuchen von Fränkel) an unbewohnten Terrains bereits die Sterilität so gelegener Schichten erwarten kann.

Da sich nämlich die Sandfilterschichte im Sinne des Anstieges des Wassergebietes verjüngt, so kann man die wasserführenden Schichten der höher gelegenen Teile desselben ganz bestimmt für nicht steril halten.

Infolgedessen ist dann freilich die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dafs ein Teil der Mikroben, namentlich solcher, die an die im Boden herrschenden Verhältnisse accommodiert sind, durch den Wasserstrom auch in die Stellen verschleppt werden könnte, wo die Filterschichte 2 m stark ist. (Für diese Ansicht spricht auch das Resultat der bakteriologischen Untersuchung, bei

welcher 109 Keime pro 1 ccm nachgewiesen worden sind.

Beobachten wir nunmehr den Fall, dafs in der Dungzeit pathogene Mikroben an irgendwelche höher gelegene Stellen des Wassergebietes gelangen würden, an welchen die Filterschichte schwach ist. Hier kann man also, wie oben dargethan wurde, nicht die Möglichkeit bestreiten, dafs infolge der ungenügenden Stärke der sandigen Filterschichte ein Teil der pathogenen Mikroben von der Oberfläche in die wasserführenden Spalten des felsigen Untergrundes gelangen könnte.

Gleichzeitig ist jedoch sicher, dafs, bevor dieselben mit dem Quellwasser an die Oberfläche treten könnten, eine sehr lange Zeit vergehen würde.

Wären z. B. solche schwache Filterschichten 500 bis 600 m von der hervorbrechenden Quelle entfernt, so kann man mit aller Wahrscheinlichkeit annehmen, dafs doch viele Wochen vergehen würden, ehe die auf die Stellen mit schwacher Filterschichte niederfallenden Regenniederschläge als Quellwasser unten an das Tageslicht treten.

Denn selbstverständlich müssen ja die betreffenden Niederschläge im Boden erst in vertikaler Richtung vordringen, worauf sie erst, nachdem sie in die wasserführenden Spalten des felsigen Untergrundes gelangt sind, sich annähernd horizontal bewegen werden. Der vertikale Durchtritt geschieht nun, wie oben dargelegt wurde, unter natürlichen Bedingungen im Boden sehr langsam, so dafs er allein einige Wochen dauern könnte. Die als nahezu horizontal bezeichnete Bewegung ist freilich

unverhältnismäſsig schneller. Wollten wir jedoch seine Geschwindigkeit auf 15 m pro Tag veranschlagen, was eine ziemlich hoch angesetzte Voraussetzung ist, so würde trotzdem die Durchwanderung der oben erwähnten Strecke etwa $1^1/_2$ Monat Zeit erheischen.

Daraus geht hervor, daſs, wenn pathogene Mikroben an eine solche Stelle mit schwacher sandiger Filterschichte gelangen würden, jener Teil derselben, der durch die mechanische Filtrierwirkung des Bodens nicht zurückgehalten worden ist, verschiedenen ungünstigen Einflüssen (niedrige Temperatur, andere Nährstoffe, Konkurrenz mit anderen saprophytischen, an die Bodenverhältnisse accommodierten Mikroben etc.) ausgesetzt wären, deren vernichtender Wirkung sie durch mehrere Wochen hin trotzen müſsten, wenn sie bis zur Stelle der Entquellung vordringen sollten.

Auf Grund des Angeführten kann sicherlich der Schluſs gezogen werden, daſs, wenn sich in den oberen, von der Entquellungsstelle genügend entfernten Partien des erwähnten Wassergebietes schwache Filterschichten vorfinden, ein Vordringen der pathogenen Mikroben bis zu den Stellen, an welchen das unterirdische Wasser in Form einer Quelle an die Oberfläche dringt, mit geringer Wahrscheinlichkeit erwartet werden kann.

Auſserdem muſs man beachten, daſs sich das von den Stellen mit schwächerer Filterschichten kommende Wasser bei seiner Bewegung zur Entquellungsstelle der Quelle mit dem Wasser der mit genügender Filterschichte ausgestatteten Stellen vermengt. Es entsteht daher ein Wassergemisch, dessen Filtrationseffekt einen gewissen

Mittelwert betragen wird, welcher dem durchschnittlichen Werte des Filtrationseffektes der Stellen von verschieden starker Filterschichte und verschiedener Entfernung vom Entquellungsorte entsprechen wird.

Es ist dann klar, dafs in gegebenen Verhältnissen, in welchen das Wassergebiet auch genügend starke Filterschichten besitzt, der durchschnittliche Filtrationseffekt des ganzen Wassergebietes einen günstigeren Wert aufweisen wird, als der Filtrationseffekt der Stellen mit schwacher Filterschichte.

Auf Grund der eben angeführten Erwägungen kann sicherlich der berechtigte Schlufs gezogen werden, dafs auch ein Wassergebiet mit schwächeren Filterschichten, dessen wasserführende Schichten nicht steril sind, die jedoch teils keine unreinen Sammelstätten, als Kanäle, Latrinen, Düngerhaufen etc., besitzen, und an denen die Verunreinigung der Oberfläche überhaupt selten ist, ein mit Bezug auf die Möglichkeit des Durchdringens pathogener Mikroben und der damit verbundenen Entstehung gewisser Infektionskrankheiten anstandsloses Wasser bieten kann.

Es frägt sich nun, in welcher Weise man in ähnlichen Fällen, d. h. in Wassergebieten, die zwar selten verunreinigt werden (Felder, Wiesen, Wälder etc.), jedoch schwache Filterschichten besitzen, ein bestimmtes Kriterium erhalten würde.

Mit Rücksicht auf das durch die bisherigen Erwägungen Gezeigte halte ich dafür, dafs den hygienischen Anforderungen Genüge gethan sein wird, wenn man in Bezug auf den Filtrationseffekt von Quellenwässern aus

Wassergebieten, die in die eben diskutierte Kategorie gehören, dasselbe Mafs von Anforderungen stellen wird, wie bei dem Filtrationseffekte bei der Sandfiltration.

Infolgedessen befinden wir uns nunmehr der Frage gegenüber, anzugeben, nach welchem Kriterium entschieden wird, ob der Filtrationseffekt bei der Sandfiltration gut ist.

In dieser Beziehung ist konstatiert worden, dafs sich zu Zeiten, in welchen der Gang der Filtration regelmäfsig vor sich geht, d. h. wenn die Filtriergeschwindigkeit den Wert von 2.4 m pro Tag und der Filtrierdruck am Ende der Filtrationsperiode 70—80 cm nicht überschreitet, die Mikrobenmenge in dem filtrierten Wasser, die eben, wie von der Sandfiltration nachgewiesen ist, von der Vollkommenheit der Filtration Zeugnis gibt, in gewissen, sehr konstanten Grenzen hält, in welchen die Zahl von 100 Mikroben per 1 ccm nicht überschritten zu werden pflegt.[1])

---

[1]) Es mufs freilich hervorgehoben werden, dafs auch bei sehr sorgsamer Durchführung der Sandfiltration, teils wenn in einzelnen Perioden die Qualität des Flufswassers mit Bezug auf die Durchführung der Filtration weniger geeignet wird (z. B. bei erhöhtem Flufswasserstande), teils wenn die Zusammensetzung des auf die Filter gebrachten Wassers konstant ungünstig ist, zu manchen Zeiten auch bei bestem Willen eine Verschlechterung des Filtrationseffektes über die oben erwähnten Grenzen nicht verhütet werden kann.

Diese Mängel können nur durch die sog. doppelte Filtration wettgemacht werden. Das Nähere siehe bei Kabrhel: Vervollkommnung des Filtrationseffektes; Hygienische Rundschau, und Götze: Doppelte Sandfiltration für zentrale Wasserversorgung. Arch. f. Hygiene Bd. XXXV.

Meiner Ansicht nach wäre also auch der Filtrationseffekt der (frei hervorfliefsenden) Quellwässer mit einem Wassergebiete von den oben näher dargestellten Eigenschaften im Sinne der in Bezug auf die Sandfiltration eben dargelegten Prinzipe zu beurteilen.

Es mufs freilich bemerkt werden, dafs der Zeitpunkt der Bestimmung des Filtrationseffektes so gewählt werden müfste, dafs er nicht die günstigsten Verhältnisse widerspiegelt, sondern im Gegenteile so, dafs die Untersuchung unter für die Bodenfiltration weniger günstigen Umständen geschehe, d. h. besonders in der Zeit des beginnenden Frühlings, zu welcher der Boden infolge des Schneetauens stark durchfeuchtet ist, oder überhaupt in einem Zeitpunkte nach andauerndem Regen, unter welchen Umständen das Durchsickern der Meteorwässer intensiver und daher auch die Filtriergeschwindigkeit erhöht ist.

VI. Kapitel.

Beispiel eines interessanten Falles von Trinkwasserbegutachtung.

I. Gutachten.

Die Quellen, welche den Wasserwerksbrunnen in *X*, um den es sich handelt, versorgen, entstammen den der Kreideformation zugehörigen Iserschichten[1]) (= Isersandsteine) und zwar jenem Teile derselben, der sich bei der Stadt *X* dem linken Ufer der Iser entlang zieht und diesen Flufs bis zu einer Höhe von etwa 30 bis 40 m überragt.

Das Isersandgestein besteht aus Quarzkörnern, die durch einen thonigen oder kalkig-thonigen Kitt untereinander verbunden sind. Stellenweise, wie z. B. bei *X*, ist diese Kittsubstanz stark kalkhaltig, weshalb auch die

[1]) Die Iserschichten — auch Isersandsteine genannt — ziehen sich freilich zu beiden Seiten der Iser einige Meilen weit hin. Durch diese Schichten hat sich die Iser in bedeutende Tiefen ihr Flufsbett gebahnt, so dafs dieselben, hier dem Flusse näher, dort wieder weiter von ihm entfernt, stellenweise fast senkrecht zu bedeutender Höhe aufsteigen.

solche Schichten durchströmenden Grundwässer einen ziemlich hohen Härtegrad aufweisen.

Charakteristisch ist für dieses Isersandgestein die grofse Porosität derselben, die ein Durchsickern der Wasserniederschläge in grofse Tiefen gestattet.

Aufserdem erscheint es wichtig, zu bemerken, dafs dieses Sandgestein kein kompaktes, einheitliches Ganze bildet, sondern dafs es durch zahlreiche und bedeutende Risse zerklüftet ist.

Diese Risse ziehen zum Teile in horizontaler Richtung, der wagrechten Lagerung der Schichten entsprechend, teils in vertikaler Richtung hin, in welch' letzterem Falle sie sich gewöhnlich kreuzen, wodurch mächtige Quaderblöcke entstehen.

Diese Risse sind manchmal von thonigen Bestandteilen erfüllt, zuweilen jedoch auch leer.

Im Bereiche des Grundwassers strömen in solchen leeren Rissen mehr oder weniger mächtige Wasserquellen.

Der Wasserwerksbrunnen in *X* liegt unten bei der Iser, etwa 19 m von derselben entfernt. Derselbe ist in einem Sandsteinfelsen ausgehöhlt. Die obenerwähnten Iserschichten des linken Ufers ziehen fast dem Brunnen entlang (auf der der Iser entgegengesetzten Seite), etwa bis zu 30 m Höhe emporragend, und gehen oben in ein Plateau über, auf dem der gröfste Teil der Stadt *X* gelegen ist.

In diesen Brunnen münden, und zwar in der Richtung von dem Sandsteinfelsen (der, wie erwähnt, über

30 m hoch ist), aus sichtbaren Felsenrissen die denselben versorgenden Hauptquellen.

Diese Quellen entstammen hauptsächlich dem in den tiefen (dem Niveau der Iser nahegelegenen) Schichten fliefsenden Grundwasser, das sich also unter der Stadt — von dieser durch mehr als 30 m dicke Schichten getrennt — in dem erwähnten Sandgestein in der Richtung zur Iser und zwar mit geringem Gefälle[1]) bewegt.

Die Bewegung des Grundwassers ist dort, wo dasselbe durch die poröse Masse der Sandsteinquader hindurchströmt, infolge des bedeutenden Widerstandes gewifs sehr langsam.

An Stellen jedoch, an welchen das Grundwasser in die obenerwähnten Risse gelangt, ist die Bewegung desselben infolge des geringen Widerstandes rasch. Die in solchen Rissen strömenden Wasserquellen können, sofern es sich um gröfsere Risse handelt, sehr ausgiebig sein.

Es ist jedoch stets darauf zu achten, dafs die Richtung des Grundwasserstromes in den Rissen von demjenigen des Hauptgrundwasserstromes, der im grofsen und ganzen senkrecht zur Iser seinen Lauf nimmt, etwa ähnlich abweichen kann, wie bei Einlegen von Drainageröhren in das Grundwasser eines sandigen Terrains, wo die Richtung des in den Drainageröhren fliefsenden

---

[1]) Dies kann man durch Vergleichung des Flufsniveaus mit dem Grundwasserniveau einiger vom Flusse entfernter Stellen (Brunnen) konstatieren, wobei man sich überzeugen kann, dafs das Grundwasser mit wachsender Entfernung vom Flusse höher steht, d. h. zum Flusse herabfällt.

Wassers bedeutend von der Hauptbewegung des Grundwassers differieren kann.

Das Grundwasser dieser Risse, das mit grofser Geschwindigkeit und in grofsen Mengen zur Iser dahineilt, versorgt auch den Wasserwerksbrunnen.

In Bezug auf die Bewegung des Grundwassers in der Nähe des Brunnens mufs jedoch noch ein sehr wichtiger, aus der Lokalinspektion hervorgehender Umstand hervorgehoben werden.

Dieser Umstand besteht darin, dafs das Iserniveau ein wenig (etwa 4 m) vor der Stelle, auf welcher sich der Wasserwerksbrunnen befindet, infolge der Aufstellung einer Wasserwerks- und Mühlenschleuse etwa um 120 cm jäh herabfällt, wobei der Brunnenspiegel im besten Falle etwa um 10 cm höher zu stehen kommt, als das Niveau der Iser unter dem Wasserwerke, und um 110 cm tiefer, als das der Iser über demselben.

Die Aufstellung der Schleusen an diesen Stellen mufste, da sich die Formation, in welcher auch das Flufsbett gelegen ist, wie oben erwähnt, durch grofse Porosität auszeichnet, sicherlich einen bedeutenden Einflufs auf die Bewegung des Grundwassers ausüben.

Und zwar kann man mit Bestimmtheit dafürhalten, dafs die Grundwässer, welche vor der Errichtung der Mühlen an diesem Orte im grofsen und ganzen gerade und zwar mehr oder weniger senkrecht zur Iser hinabeilten, infolge der Schleusenaufstellung von ihrer ursprünglichen geraden Richtung abweichen mufsten und dafs gleichzeitig an diesem Orte eine Beimengung des Iserwassers zum Grundwasser stattfinden mufste.

Eine die Bewegung des Grundwassers mit Rücksicht auf den letztangeführten Umstand darstellende Zeichnung würde etwa folgendermafsen ausfallen:

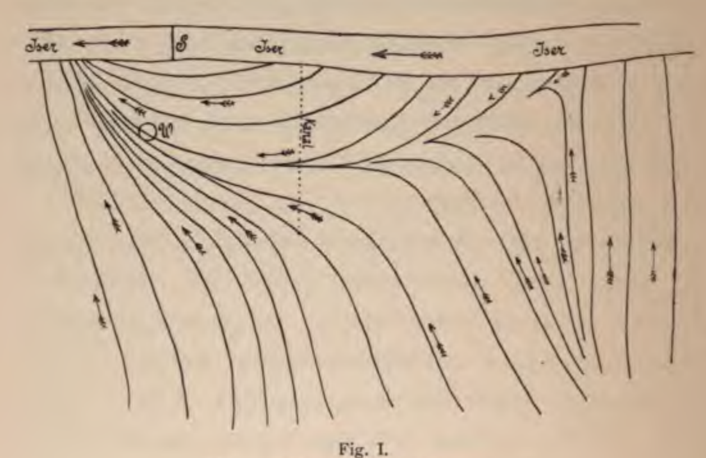


Fig. I.

W = Wasserwerksbrunnen.
S = Schleuse.

Aus den vorausgeschickten Erwägungen und der obigen Zeichnung geht hervor, dafs das den Wasserwerksbrunnen versorgende Wasser für ein Gemisch gehalten werden mufs, das zum Teile aus Grundwasser, zum Teile aus filtriertem Iserwasser besteht.

Bis zu welcher Entfernung von der Schleuse sich das Iserwasser dem Grundwasser beimischt, kann freilich ohne detaillierte Messungen des Grundwasserniveaus nicht konstatiert werden.[1])

[1]) Eine genaue Feststellung wäre mit Hilfe von Bohrlöchern an den betreffenden Stellen möglich, in welchen der Stand des Grund wassers gemessen und mit demjenigen der Iser verglichen werden würde.

Es wäre jedoch ganz gewifs möglich, dafs sich das Iserwasser dem Grundwasser noch hinter der Stelle beimischt, an welcher etwa 30—40 m weit von der Schleuse der städtische Kanal (Siel), der im grofsen und ganzen in senkrechter Richtung zur Iser verläuft, in dieselbe einmündet.

Sollte es sich wirklich so verhalten, dann würde freilich der zum Brunnen verlaufende Strom des filtrierten Iserwassers diesen Kanal, von dessen Basis er durch eine nicht sehr starke Schichte getrennt sein würde, kreuzen.

Dieses Bild der Grundwasserbewegung erschien auf Grund des Lokalaugenscheines als wahrscheinlich.

Mit Rücksicht auf die Nähe der Iser war es jedoch weiterhin notwendig, zu konstatieren, ob sich das Niveau des Brunnenwassers bei allen üblichen Intensitäten der Wasserentnahme stets höher hält, als das des Wasserspiegels der Iser unter dem Wasserwerke, d. h. ob bei allen üblichen Intensitäten der Wasserentnahme stets die dem obenangeführten Schema (Fig. I) entsprechende Wasserbewegung vorausgesetzt werden könne.

Auf meine Frage, ob Messungen behufs Konstatierung des Niveaustandes im Brunnen und in der Iser unter dem Wasserwerke durchgeführt worden sind, erhielt ich eine bejahende Antwort mit der Versicherung, dafs das Brunnenniveau stets um 10 cm höher befunden wurde als der Spiegel der Iser unter dem Wasserwerke (unterhalb der Schleusen). Desgleichen hielt ich auf Grund eines Berichtes über das Trinkwasser in der

Stadt *X*, den ich vor dem Beginne meiner Untersuchungen gelesen habe, besonders angesichts des auf S. 31 desselben Angeführten, für ganz sicher, dafs das Brunnenniveau höher steht, als der Iserspiegel unter dem Wasserwerke.

Trotzdem mufste ich auf Grund einer bestimmten, bei der Lokalaufnahme konstatierten Erscheinung die Richtigkeit dieser Angaben in Zweifel ziehen, so dafs ich eine Nivellierung der beiden in Frage kommenden Wasserflächen in meiner Gegenwart veranlafste.

Am linken Ufer, also auf derselben Seite, wie der Brunnen, befand sich nämlich ein noch von dem Baue des Wasserwerkskamines übriggebliebener Fangdamm. In diesem Fangdamme nun stand der Wasserspiegel etwa um 2—3 cm tiefer, als das Niveau der Iser. Da der Fangdamm den Spiegel der Iser nur unbedeutend überragte, konnte diese Differenz des Wasserstandes ganz deutlich konstatiert werden.

Diese Erscheinung konnte nun freilich nicht anders erklärt werden, als dadurch, dafs der Wasserstrom von der Iser unter dem Wasserwerke zum Brunnen hinzieht, d. h. dafs der Wasserspiegel des Brunnens tiefer liegen mufs, als derjenige der Iser unter dem Wasserwerke.

Die Nivellierung des betreffenden Niveaus bestätigte vollkommen diese Anschauung. Und zwar wurde an dem Tage, an welchem ich meine Untersuchung begann (am 23. VII. 1896), der Wasserspiegel des Brunnens um 40 cm tiefer befunden, als derjenige der Iser unter dem Wasserwerke.

Es mufs nun hervorgehoben werden, dafs — wie aus dem Nachfolgenden zu entnehmen sein wird — gerade die Konstatierung dieser Thatsache, der unrichtigen Behauptung entgegen, der ich allenthalben begegnete, dafs nämlich das Brunnenniveau bei den üblichen Intensitäten der Wasserentnahme stets höher zu stehen kommt als der Iserspiegel, sowohl für den Fortgang der chemischen und bakteriologischen Untersuchungen, als auch für die aus denselben abzuleitenden Schlüsse mafsgebend gewesen ist.

Auf Grund der eben konstatierten Thatsache konnte nämlich der Schlufs gezogen werden, dafs der Zuflufs des nach dem Schema der Fig. I sich bewegenden Grundwassers nicht so mächtig ist, um in allen Fällen das abgepumpte Wasser zu ersetzen.

Infolgedessen sinkt der Wasserspiegel des Brunnens bei intensiverer Wasserentnahme unter denjenigen der Iser unter dem Wasserwerke; dadurch vergröfsert sich einesteils der Zuflufs des Grundwassers aus der Kreideformation, sowie der Zuflufs des filtrierten Wassers der Iser ober dem Wasserwerke, andernteils entsteht jedoch zwischen der Iser unter dem Wasserwerke und dem Brunnen ein neuer, dem ursprünglichen normalen ganz entgegengesetzter Wasserstrom.

Das Schema der Grundwasserbewegung wäre in diesem Falle etwa das umstehende (S. 190, Fig. II).

Diese bezeichneten Änderungen in der Bewegung des Grundwassers stellen sich freilich in desto intensiverem Mafse ein, je tiefer das Niveau des Brunnens unter das

jenige der Iser sinkt, d. h. je intensiver das Brunnenwasser geschöpft wird.

Desgleichen ist augenscheinlich, daſs bei gröſseren Depressionen im Brunnen auch die Bahn, auf welcher längs des Ufers das Iserwasser eindringt und dem Grundwasser sich beimischt, sowohl ober dem Wasserwerke, wie auch unter demselben sich verlängern wird.

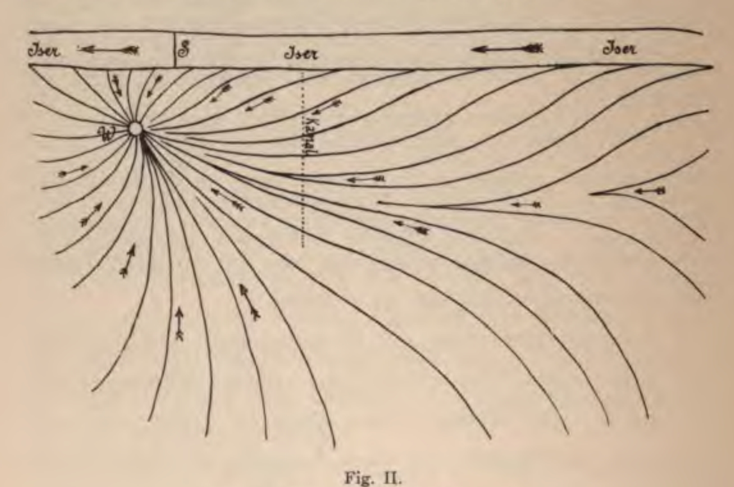


Fig. II.

W = Wasserwerksbrunnen.

S = Schleuse.

Mit diesen Konklusionen stimmt auch völlig die Beobachtung überein, daſs bei sehr intensiver Wasserentnahme, wie sie z. B. bei der Brunnenbohrung geübt wurde, wobei das Brunnenniveau 2 m und mehr unter demjenigen der Iser unter dem Wasserwerke gehalten wurde, der Wasserspiegel der nahe der Iser gelegenen, vom Wasserwerksbrunnen jedoch mehr als 1000 m entfernten Brunnen deutlich herabsank (wie z. B. in der Vorstadt Pták).

Mit Rücksicht auf das bisher Gesagte ist es klar, dafs die Intensität der Wasserentnahme, von der es eben abhängt, ob die Grundwasserbewegung nach dem Schema der Fig. I oder nach demjenigen der Fig. II vor sich geht, sowohl die chemische wie auch die bakterielle Qualität des Wassers sehr wesentlich beeinflussen kann und zwar umsomehr, als es sich um eine durch viele Risse zerklüftete Formation handelt.

Aus dem bisher Angeführten geht mit aller Bestimmtheit hervor, dafs die chemischen und bakteriologischen Untersuchungen mit der gleichzeitigen Messung der Wasserspiegel des Brunnens und der Iser verknüpft sein müssen.

Es ist freilich hervorzuheben, dafs bei den vor mir ausgeführten chemischen und bakteriologischen Untersuchungen dieses Prinzip überhaupt nicht beachtet worden ist, wodurch viele Irrtümer, Mifsverständnisse und Gegensätze in den Befunden und Schlufsfolgerungen herbeigeführt wurden. Es ist weiterhin selbstverständlich, dafs die mit Aufseraachtlassung der Niveaumessungen ausgeführten bakteriologischen und chemischen Untersuchungen zu einem richtigen, für den ganzen Sachbestand zutreffenden Urteile nicht führen können und daher wertlos sind.

Dafs die im Vorhergehenden auf Grund hydrologischer Verhältnisse entwickelten Spekulationen und Schlufsfolgerungen richtig waren, bestätigten auch einige, bei dieser ersten Untersuchung durchgeführte vorläufige Versuche und Messungen.

Ich möchte dieselben hier kurz berühren, da sie die oben entwickelten Schlufsfolgerungen in bezeichnender Weise illustrieren.

Wie erwähnt wurde, fand ich am 23. III. 1896, dafs der Spiegel des Wasserwerksbrunnens um 40 cm tiefer stand, als das Niveau der Iser unter dem Wasserwerke. Im Hinblicke auf diese ziemlich bedeutende Depression im Brunnen erschien es notwendig, die Menge des aus demselben geschöpften Wassers festzustellen (um bei eventuell festgestelltem übergrofsem Wasserverbrauche die Hubzahl der Pumpmaschine zu vermindern.

Zu diesem Zwecke wurde der Durchschnitt der Pumpenstempel und die Hubzahl eruiert.

Es zeigte sich, dafs

der Durchschnitt der Pumpenstempel = 20 cm,
die Hubhöhe . . . . = 80 »
die durchschnittliche Hub- oder
Tourenzahl in der Minute . . . = 30 (manchmal auch mehr).

Auf Grund dieser Daten wurde ausgerechnet, dafs die Pumpmaschine nach Abrechnung von 10% auf mögliche Verluste mit einer Tour 54 l Wasser lieferte.

Die Maschine schöpfte folglich 2332.8 cbm Wasser per Tag.

Da die Stadt *X* ungefähr 13000 Bewohner hat, kamen zur Zeit meiner Untersuchung fast 200 l Wasser täglich auf eine Person.

Daraus geht hervor, dafs zu dieser Zeit grofse Wasserverschwendung herrschte. Diese Verschwendung ist freilich leichtverständlich, wenn man bedenkt, dafs in

zahlreichen Brunnenkästen und auch aus den Wasserhähnen in den Häusern das Wasser bei Tag und Nacht ununterbrochen abfliefst.

Angesichts einer solchen Wasserverschwendung konnte ein Versuch mit Verminderung der Tourenzahl von 30 auf 16—17 gemacht werden, was einem täglichen Wasserverbrauche von 100 l per Bewohner entsprochen haben würde.

Als Folge dieser Verminderung stellten sich bald gewisse Veränderungen ein, welche eigentlich, mit Hinblick auf die oben entwickelten Anschauungen, hätten vorhergesagt werden können.

Diese Veränderungen betrafen, soweit sie bei dieser ersten vorläufigen Untersuchung konstatiert werden konnten,

a) den Stand des Wasserspiegels,
b) die Temperatur des Wassers an gewissen Stellen des Brunnens,
c) die Keimmenge.

Was den Stand des Wasserspiegels betrifft, wurde festgestellt, dafs bereits etwa 12 Stunden nach der Verminderung der Tourenzahl die Niveaudifferenz von 40 cm bei 30 Touren auf 13 cm herabsank.

In Bezug auf die Temperatur des Brunnenwassers wurde konstatiert:

Bei 30 Touren:

Wassertemperatur	auf d. Felsenseite d. Brunnens	10.5° C.
	auf d. Flufsseite d. Brunnens	**13.0° C.**

Bei 16 Touren:

Wassertemperatur	auf d. Felsenseite d. Brunnens	10.5° C.
	auf d. Flufsseite d. Brunnens	**11.0° C.**

Die bakteriologische Untersuchung wies bei Verminderung der Tourenzahl eine Abnahme der Keimmenge nach.

Mit Hinblick auf die verschiedenen bis jetzt angeführten Erwägungen, Messungen und Orientierungsversuche erscheint es gewiſs selbstverständlich, daſs, wenn ein richtiges Urteil über das Wasser des Wasserwerksbrunnens ausgesprochen werden soll, notwendig ist, zu untersuchen:

1. Wie sich das Brunnenwasser in Bezug auf seine chemischen und bakteriellen Eigenschaften unter Umständen verhält, in welchen der Brunnenspiegel höher steht als das Niveau der Iser unter dem Wasserwerke (also bei einer Grundwasserbewegung nach dem Schema der Fig. I).

2. Wie sich das Brunnenwasser in Bezug auf seine Qualität verhalten wird, wenn der Brunnenspiegel nach und nach unter das Niveau der Iser unter dem Wasserwerke sinken wird.

Zu diesen Untersuchungen konnte freilich nicht gleich, sondern erst nach Durchführung gewisser Vorarbeiten geschritten werden, die teils darin beruhten, daſs selbstthätige Apparate zur Messung des Niveaus im Brunnen und in der Iser (sowohl unter dem Wasserwerke, wie auch über demselben) aufgestellt wurden, teils aber darin, daſs mit Hilfe dieser Apparate das Verhalten der erwähnten Wasserspiegel bei Verminderung der Tourenzahl der Pumpmaschine untersucht wurde, um festzustellen, bei welcher Tourenzahl es möglich ist, ein Ansteigen des Brunnenniveaus über dasjenige der Iser unter dem Wasserwerke zu bewirken.

Nach Vollendung dieser Vorarbeiten schritt ich gegen Ende Dezember, wo mir die Weihnachtsferien eine mehrtägige Abwesenheit von Prag erlaubten, zur Ausführung der entscheidenden chemischen und bakteriologischen Untersuchungen.

Mit denselben wurde am 28. XII. 1896 begonnen.

Der Verlauf der Untersuchungen war im wesentlichen der, dafs bei einer gewissen Tourenzahl, die verzeichnet wurde, der Stand der Wasserspiegel abgelesen wurde, worauf sofort die Probeentnahme zur

a) bakteriologischen,

b) chemischen Untersuchung erfolgte.

Die Platten wurden an Ort und Stelle gegossen, die zur chemischen Untersuchung bestimmten Proben in Flaschen versiegelt und für die in Prag auszuführende Analyse aufbewahrt.

Es wurden nachfolgende Proben genommen:

28. XII. Tourenzahl in der Minute: 16

Niveaustand	unter dem Wasserwerke:	+ 7[1])
	im Brunnen:	+ 4[2])
	ober dem Wasserwerke:	+ 4[3])

Ich mufs hervorheben, dafs viele Tage vor meiner Ankunft die Tourenzahl auf 16 in der Minute erhalten worden ist.

[1]) Der Nullpunkt entspricht dem Nullpunkte des Wassermessers unter dem Wasserwerke.

[2]) Der Nullpunkt entspricht gleichfalls dem Nullpunkte des Wassermessers unter dem Wasserwerke.

[3]) Der Nullpunkt entspricht dem Nullpunkte des Wassermessers ober dem Wasserwerke, der freilich um 120 cm höher steht als derjenige unter dem Wasserwerke.

29. XII. um $9^1/_2$ morgens Tourenzahl: 13

Niveaustand { unter dem Wasserwerke: + 4
im Brunnen: + 13
ober dem Wasserwerke: + 3 }

Gegen Abend des 28. XII. wurde die Tourenzahl von 16 auf 13 erniedrigt. Die ganze Nacht bis zum Morgen wurde bei 13 Touren geschöpft.

30. XII. um $^3/_4 9$ morgens Tourenzahl: 24

Niveaustand { unter dem Wasserwerke: + 1
im Brunnen: — 12
ober dem Wasserwerke: + 3 }

Von $9^1/_4$ morgens wurde die Tourenzahl bis $^3/_4 9$ am 29. XII. abends von 13 allmählich auf 24 erhöht. Die ganze Nacht bis zum Morgen wurde bei 24 Touren geschöpft.

30. XII. um 3 nachmittags Tourenzahl: 39

Niveaustand { unter dem Wasserwerke: + 4
im Brunnen: — 40
ober dem Wasserwerke: — 6 }

Die Tourenzahl wurde wiederum allmählich erhöht.

Um 1 Uhr nachmittags am 30. XII. wurden 34, um 2 Uhr 40 Touren erreicht.

Nach der Probeentnahme wurde die Tourenzahl allmählich von 39 auf 16 vermindert, welche Zahl am 30. XII. abends erreicht wurde.

Aufserdem wurden am 28. XII. und 29. XII. aus der Iser Proben behufs bakteriologischer und am 29. XII. eine Probe zum Zwecke chemischer Untersuchung entnommen.

Endlich wurde am Tage meiner Abreise, am 31. XII. um $8^1/_2$ morgens noch eine zur bakteriologischen Untersuchung bestimmte Probe entnommen, was eigentlich eine Wiederholung des am 28. XII. unternommenen Versuches war, da die Tourenzahl und die Niveaudifferenz fast dieselben Verhältnisse zu tage legten. Es waren nämlich:

Tourenzahl: 18

Niveaustand	unter dem Wasserwerke:	— 7
	im Brunnen:	— $8^1/_2$
	ober dem Wasserwerke:	— 30

Bevor ich jedoch die Resultate der chemischen und bakteriologischen Untersuchungen anführen werde, halte ich einige Angaben über den während einer gewissen Zeit bei einer bestimmten Tourenzahl stattgehabten Wasserwechsel für notwendig. Und dies zwar aus dem Grunde, um der Einwendung zu begegnen, daſs für einen gehörigen Wasserwechsel vor der Entnahme der betreffenden Proben nicht gesorgt worden ist.

Zu diesem Zwecke muſs ich anführen, daſs die Wassersäule am Beginne der Versuche 3.60 m hoch war, der Brunnendurchmesser = 4 m. Die Wassermenge im Brunnen betrug also 45 cbm.

Da in einer Stunde

bei 13 Touren	42.1 cbm,
» 16 »	51.8 »
» 24 »	71.7 »
bei 40 »	129.6 »

abgepumpt wurden, so ist es klar, daſs zwischen den einzelnen Versuchen eine genügend lange Zeit verflossen

ist, um die eventuellen, von der Intensität des Schöpfens, d. h. von der Tourenzahl abhängigen Qualitätsveränderungen zum Ausdrucke kommen zu lassen.

Die Proben wurden einem öffentlichen, bei dem Wasserwerke angebrachten Wasserhahne entnommen. Es ist selbstverständlich, dafs ich vor der Entnahme jeder einzelnen Probe das Wasser längere Zeit jäh abfliefsen liefs.

Die Untersuchung der entnommenen Proben ergab nachfolgende in den Tabellen S. 199 u. 200 verzeichnete Resultate.

Bakteriologische Untersuchungen über die im Wasserwerksbrunnen vertretenen Mikrobenarten.

a) B. typhi wurde nicht nachgewiesen.

b) Desgleichen ist auch B. coli nicht gefunden worden.

c) In Bezug auf die Vertretung der einzelnen Arten trat zwischen den in der Zeit, wo der Brunnenspiegel um 9 cm höher stand als das Iserniveau (unter dem Wasserwerke), entnommenen Proben und denjenigen, welche entnommen wurden, als das Brunnenniveau tiefer stand als der Iserspiegel (unter dem Wasserwerke) ein deutlicher Unterschied zu Tage. Es fand sich nämlich, dafs auf den, dem höheren Wasserstande im Brunnen (im Gegensatze zu dem der Iser) entsprechenden Platten Bac. fluorescens liquefaciens gänzlich fehlte, während er auf den Platten, die dem tieferen Wasserstande im Brunnen (im Gegensatze zu dem der Iser) entsprachen, zahlreich vertreten war.

Die chemische Untersuchung

a) des Wasserwerksbrunnens:

Zeit der Probeentnahme	Tourenzahl in der Minute	Niveaustand			Um wieviel steht die Iser unter d. Wasserwerke höher od. tiefer als der Wasserspiegel des Brunnens	Abdampfrückstand	Härte in deutsch. Härtegraden	Chlor	N_2O_5	NH_3	N_2O_3	Zur Oxydat. verbrauchter Sauerstoff
		unter d. Wasserwerke	im Brunnen	ober d. Wasserwerke		g		mg	mg			mg
28. XII.	16	+7	+4	+4	Die Iser um 3 cm höher	0.351	13.7	13.85	23 9	—	—	0.88
29 XII 9 1/2 morgens	13	+4	+13	+3	Die Iser um 9 cm tiefer	0.392	13.8	13 85	24.65	—	—	0.96
30. XII. 3/4 9 morgens	24	+1	−12	+3	Die Iser um 13 cm höher	0.362	13.2	14	23.32	—	—	1.6
30. XII. 3 nachmittags	39	+4	−40	−6	Die Iser um 44 cm höher	0.346	11.75	13.85	21.32	—	—	1.36

b) des Iserwassers:

Zeit der Probeentnahme	Abdampf-Rückstand	Härte in deutschen Härtegraden	Chlor	N_2O_5	NH_3	N_2O_3	Zur Oxydation verbrauchter Sauerstoff
29. XII. 9 1/2 früh	0.37	5.5	4.99	Spuren	Spuren	Spuren	2.4 mg

Berechnet auf 1 Liter

Die bakteriologische Untersuchung

(Keimzahl auf Kochsalz-Fleischpepton-Gelatine).

a) des Wasserwerksbrunnens:

Zeit der Probeentnahme	Tourenzahl in der Minute	Niveaustand			Um wieviel steht die Iser unter d. Wasserwerke höher od. tiefer als der Wasserspiegel des Brunnens,	Keimzahl in 1 ccm
		unter d. Wasserwerke	im Brunnen	ober d. Wasserwerke		
28. XII.	16	+ 7	+ 4	+ 4	Die Iser um 3 cm höher	524
29. XII. $9^1/_2$ früh	13	+ 4	+ 13	+ 3	Die Iser um 9 cm tiefer	337
30. XII. $^3/_4 9$ früh	24	+ 1	− 12	+ 3	Die Iser um 13 cm höher	1123
30. XII. 3 nachm.	39	+ 4	− 40	− 6	Die Iser um 44 cm höher	1200
31. XII. $9^1/_2$ früh	18	− 7	$-8^1/_2$	− 30	Die Iser um $1^1/_2$ cm höher	520

b) des Iserwassers:

Probe vom	Keimzahl in 1 ccm auf alkal. Fleischpepton-Gelatine
28. XII.	6960
29. XII.	7800

Desgleichen war B. punctatus auf Platten, welche dem im Verhältnisse zum Iserniveau tieferen Wasserstande im Brunnen entsprachen, vertreten, wenn auch nicht so zahlreich wie B. fluorescens, wogegen er auf den Platten fehlte, welche von dem Brunnenwasser bei höherem Stande desselben (im Vergleiche zur Iser) gegossen wurden.

Ähnlich wie B. punctatus verhielt sich auch B. nubilus.

Das Fehlen dieser drei Bakteriengattungen hatte nun natürlicherweise zur Folge, dafs die dem im Verhältnisse zur Iser tieferen Wasserstande im Brunnen entsprechenden Platten durch Verflüssigung ziemlich bald vernichtet wurden, während die dem höheren Wasserstande im Brunnen entsprechenden sich länger als drei Wochen erhielten.

d) Rücksichtlich der übrigen in den Proben konstatierten Bakterienarten (als B. amethysticus, ochraceus, M. sulfureus, candicans, B. multipediculosus und einigen anderen, hauptsächlich nichtverflüssigenden Arten) ist hervorzuheben, dafs dieselben nichts für die Wasserbeurteilung Charakteristisches und Wichtiges ergeben haben.

c) Im Iserwasser war B. fluorescens liquefaciens in bedeutender Menge vertreten. So fanden sich z. B. auf einer mit 0.1 ccm Iserwasser beschickten Platte 10 Kolonien dieses Bacillus. Auch B. punctatus war im Iserwasser in genügender Menge vorhanden.

Ich komme nun zu den Schlüssen, die sich aus den angeführten chemischen und bakteriologischen Analysen ergeben. Vor allem zeigt sich, dafs das Wasser des Wasserwerksbrunnens keine konstante, sondern eine sowohl in chemischer wie auch in bakteriologischer Hinsicht veränderliche Qualität besitzt.

Forschen wir nach den Ursachen dieser Veränderlichkeit, so gelangen wir gewifs zu dem Resultate, dafs dieselbe von der Tourenzahl, d. h. von der Intensität der Wasserentnahme abhängt.

So bemerken wir, daſs die Härte bei der geringsten Tourenzahl (13) die bedeutendste (13.8 Grad), und umgekehrt bei der gröſsten Tourenzahl die niedrigste (11.7 Grad) ist.

In vollkommen analoger Weise wie die Härte verhält sich auch N_2O_5.

Desgleichen ist der Abdampfrückstand bei geringer Tourenzahl am gröſsten, bei hoher Tourenzahl am kleinsten.

Das Chlor hält sich in konstanten Werten, was freilich schwer verständlich ist; nichtsdestoweniger werde ich später dieses konstante Verhalten zu erklären suchen.

Was die Abhängigkeit des bakteriologischen Befundes von der Intensität der Wasserentnahme betrifft, so sehen wir, daſs einesteils die Keimmenge mit der Tourenzahl ansteigt, und daſs andernteils auch das Auftreten gewisser Bakterienarten in gewissem Maſse von der Intensität der Wasserentnahme abhängt.

Es handelt sich nunmehr darum, ob es möglich ist, diese Abhängigkeit sowohl der chemischen wie auch der bakteriologischen Qualität von der Intensität der Wasserentnahme zu erklären.

Erinnern wir uns auf die oben detailliert besprochenen Verhältnisse der Grundwasserbewegungen, so wird es uns ein Leichtes sein, diese Abhängigkeit zu erklären.

Bei 13 Touren stand nämlich das Brunnenniveau um 9 cm höher als dasjenige der Iser unter dem Wasserwerke.

Bei 16 Touren stand jedoch der Brunnenspiegel um 3 cm, und bei 39 Touren um 44 cm tiefer als das Iserniveau. Daraus geht hervor, daſs sich bei einer gröſseren

Tourenzahl (zur Zeit meiner Versuche etwa bei 16 Touren) in den porösen Bodenschichten unter dem Wasserwerke ein vom Flusse zum Brunnen gerichteter Wasserstrom bildet (nach dem Schema der Fig. II).

Dieser Strom, d. h. der Zuflufs des Iserwassers in den Brunnen, wird freilich desto gröfser werden, je gröfser sich die Depression herausstellt, d. h. je gröfser die Tourenzahl wird.

Unter solchen Umständen mufs es ganz natürlich erscheinen, wenn mit dem Zutritte des weichen Iserwassers (cf. die betreffende Analyse) die Zahlen für Abdampfrückstand und Salpetersäure bei intensiverer Wasserentnahme herabsinken.

Dafs die Zahlen für Chlor bei einer gröfseren Tourenzahl nicht tiefer sinken, liefse sich dadurch erklären, dafs etwa dasselbe bei dem Durchtritte des Wassers durch den Boden aus diesem ausgelaugt wird.

Desgleichen bietet das Anwachsen der Keimzahl und das Auftreten von Bac. fluor. liq. und B. punct. bei intensiverer Wasserentnahme der Erklärung keine Hindernisse, sobald die Beimengung des in 1 ccm 7000 Keime enthaltenden Iserwassers konstatiert ist.

Nunmehr müssen wir zum eigentlichen Kerne der Angelegenheit schreiten, zum Urteile nämlich, ob das Wasser des Wasserwerksbrunnens den an ein Trinkwasser gestellten Anforderungen entspricht.

Mit Rücksicht auf das auf Grund des Lokalaugenscheines, sowie der bakteriologischen und chemischen Untersuchungen bisher Angeführte, erscheint es sicher-

lich ganz klar, dafs in der Beurteilung zwei Fragen selbstständig beantwortet werden müssen und zwar:

a) Entspricht das Wasser des Wasserwerksbrunnens im Falle, dafs das Brunnenniveau höher steht als der Spiegel der Iser unter dem Wasserwerke (was durch eine verminderte Tourenzahl erreicht wird) den an ein Trinkwasser gestellten Anforderungen?

b) Entspricht das Wasser des Wasserwerksbrunnens im Falle, dafs das Brunnenniveau tiefer liegt als der Spiegel der Iser unter dem Wasserwerke den hygienischen Postulaten?

Schreiten wir also zur Beantwortung der sub a) gestellten Frage. Zu diesem Zwecke müssen wir uns vor allem zur Kenntnis bringen, dafs in diesem Falle die Grundwasserbewegung nach dem Schema der Fig. I vor sich geht, d. h. der Brunnen wird nicht ausschliefslich vom Grundwasser der linksuferigen Iserschichten versorgt, sondern teilweise auch von filtriertem Wasser, das am linken Iserufer oberhalb des Wasserwerkes in den Boden eindringt und sich dem in den Brunnen fliefsenden Grundwasser beimischt.

Ein solches Beimischen des filtrierten Iserwassers kann mit voller Bestimmtheit auch in dem Falle vorausgesetzt werden, wenn die linksuferige Sandsteinformation von Rissen und Scharten vollkommen frei wäre, denn 1. ist der Niveauunterschied des Brunnens und der Iser vor dem Wasserwerke ein sehr bedeutender, in unserem Falle nämlich etwa 110 cm; 2. ist bedeutende Porosität eben eine charakteristische Eigenschaft des Isersandgesteines.

Eine direkte Kommunikation mit der Iser vor dem Wasserwerke kann mit der gröfsten Wahrscheinlichkeit aus dem Grunde ausgeschlossen werden, weil die Keimmenge im Falle a) niedrig ist (337 per ccm) und weil die in der Iser zahlreich vertretenen Arten, wie B. fluorescens liquefaciens und punctatus, auf den diesbezüglichen Platten nicht aufgefunden wurden.

Das Wasser des Wasserwerksbrunnens wird also im Falle a) von zwei Komponenten zusammengesetzt und zwar 1. von dem filtrierten Iserwasser, 2. vom Grundwasser.

Es ist folglich selbstverständlich, dafs sich das Urteil, ob das Wasser den hygienischen Anforderungen entspricht, auf die Würdigung jeder einzelnen Komponente stützen mufs.

Im Hinblicke darauf mufs jedoch vor allem vorausgeschickt werden

1. ob die beim Durchtritte des Iserwassers durch das Sandgestein des Ufers zum Brunnen stattfindende Filtration derjenigen gleichwertig gehalten werden kann, die bei der sog. Sandfiltration erzielt wird und welches der Mafsstab eines guten Filtrationseffektes bei der Sandfiltration ist.

2. Welche Anforderungen werden an das Grundwasser gestellt, wenn dasselbe als Trinkwasser dienen soll?

Hinsichtlich des Filtrationsvorganges, dem das Iserwasser bei seinem Durchtritte durch die Sandsteinformation zum Brunnen unterworfen wird, mufs nachfolgendes hervorgehoben werden:

Die Poren zwischen den Sandkörnern sind ursprünglich freilich viel gröfser, so dafs die Bakterien ganz leicht

durchzudringen vermögen. Dringt jedoch in ein solches Sandgestein Flufswasser ein, so gelangen gleichzeitig auch viele feine schwimmende Körperchen hinein, die in den Flufswässern gewöhnlich sehr zahlreich enthalten sind.

Durch das allmähliche Eindringen solcher schwimmender Körperchen werden die Poren, besonders in den oberflächlichen Schichten, so verlegt (bei der Sandfiltration wird dies als Bildung der Filterhaut bezeichnet), dafs in dieser verdichteten Zone die Bakterien fast gänzlich zurückgehalten, d. h. abfiltriert werden.

Dafs eine solche fast vollkommene Zurückhaltung der Keime sich als Folge der Porenverlegung einstellen mufs, kann aus den bei der Sandfiltration, und besonders mit den sog. Sandplattenfiltern von Fischer-Peters gewonnenen Erfahrungen gefolgert werden, in welchen beiden Fällen der Filtrationsvorgang mit Rücksicht auf das Zurückhalten der Keime einem gründlichen Studium unterworfen worden ist.

Es mufs jedoch hervorgehoben werden, dafs ein solch sicheres und vollkommenes Zurückhalten der Bakterienkeime nur bei dem Normale nahen Wasserständen der Iser vorausgesetzt werden kann. Bei höheren Wasserständen, bei welchen das Flufswasser mit Sandsteinschichten in Berührung kommt, deren Sandkörner lockerer gelagert sind, die gröfsere Poren besitzen und daher für Bakterien durchlässiger sind, ist freilich eine Verschlechterung des Filtrationseffektes ganz leicht möglich.[1])

[1]) Siehe G. Kabrhel: Eine Vervollkommnung des Filtrationseffektes bei der Centralfiltration. (Hygienische Rundschau 1897, Nr. 10.)

Weiterhin mufs bemerkt werden, dafs, wenn auch bei dem Normale nahen Wasserständen in jener oberflächlichen verlegten Schichte (Filterhaut) der Ufersandsteine eine sehr vollkommene Zurückhaltung der Keime mit grofser Wahrscheinlichkeit vorausgesetzt werden kann, trotzdem die Möglichkeit eines Eindringens von Keimen bei dem weiteren Durchtritte des filtrierten Wassers zum Brunnen und zwar eben aus den oberflächlichen Bodenschichten nicht ausgeschlossen ist.

Man kann nämlich sagen, dafs das Niveau der in der Sandsteinformation vom Ufer zum Brunnen dahineilenden Wässer ober dem Wasserwerke der Oberfläche ziemlich nahe, stellenweise sicher kaum 2 m von derselben entfernt sind. Diese Stellen sind aber einer Verunreinigung zugänglich; denn an denselben führt neben dem Wasserwerke eine öffentliche Strafse dem Iserstrome entgegen. Sollte die Strecke, auf welcher das Iserwasser in den Boden dringt, höher dem Strome entgegen reichen, so würden auch die an der Iser gelegenen Wohnstätten in die Wagschale fallen. Diese Eventualität könnte bei grofsen Depressionen in Frage kommen; bei der Brunnenbohrung und der damit verbundenen grofsen Wasserschöpfung wurde thatsächlich ein Herabsinken des Niveaus auch in weit von dem Wasserwerke gelegenen Brunnen beobachtet (in der Vorstadt Ptak).

Sollte das Eindringen des Iserwassers auch bei kleinen Tourenzahlen höher reichen, als die Mündung des oben angeführten Kanales (Siel mit Fäkalien), so würden sich die Ströme des filtrierten Iserwassers mit diesem Kanale kreuzen, was freilich

sehr schwer in die Wagschale fiele, da die erwähnten Wasserströme durch eine verhältnismäfsig sehr dünne Sandsteinschichte von dessen Basis getrennt sein würden. Da auch technisch gut durchgeführte Kanäle einigermafsen durchlässig sind, wäre eine Verunreinigung des Wassers von seiten derselben leicht denkbar.

Nun ist des weiteren die Frage zu besprechen, warum der bei der Sandfiltration erzielte Effekt für befriedigend gehalten werden kann. In dieser Hinsicht wurde auf Grund unzähliger Versuche konstatiert, dafs der Filtrationseffekt dann für befriedigend gehalten werden kann und dafs die mögliche Infektiosität der der Filtration unterworfenen Oberflächenwässer paralysiert wird, wenn sich die Menge der in 1 ccm filtrierten Wassers konstatierten Keime unter 100 hält.

Mit Hinblick darauf ist es also klar, dafs die Komponente, welche dem Wasserwerksbrunnen von dem filtrierten Iserwasser geliefert wird, nicht mehr als 100 Keime in 1 ccm enthalten darf, falls der Filtrationseffekt dieser Komponente befriedigen soll.

Ich mufs nunmehr zu der zweiten Komponente, nämlich dem Grundwasser, übergehen.

Soll das Grundwasser den auf Grund der herrschenden Ansichten an ein Trinkwasser gestellten Anforderungen genügen, so mufs dasselbe sterilen, keimfreien Schichten entstammen, d. h. es mufs keimfrei (steril) sein.

Nur auf diese Weise kann eine Infektion des Grundwassers durch Organismen, die, wie besonders B. typhi oder Vibrio cholerae mit menschlichen Exkrementen zu-

weilen in das Grundwasser gelangen können, verhütet werden.

Man mufs freilich im Auge behalten, dafs solche sterile Grundwässer, indem sie in den Brunnen gelangen und da mit der Luft und nichtsterilen Gegenständen, wie z. B. der Pumpe, Ummauerung, in Berührung kommen, ihre Sterilität einbüfsen; dies ist jedoch nicht hinderlich, da, wie man dafürhält, weder B. typhi noch V. cholerae durch Vermittlung der Luft in die Brunnenwässer gelangt.

Es mufs sich also nunmehr darum handeln, ob und wie es möglich ist, zu eruieren, dafs die den Wasserwerksbrunnen versorgende Grundwasserkomponente aus solchen keimfreien, sterilen Schichten stammt.

Die gewöhnlich zur Konstatierung der Sterilität des Grundwassers gebräuchliche Methode beruht darin, dafs an der Stelle, an welcher die Keimfreiheit des Grundwassers festgestellt werden soll, ein Norton- oder Schulhof-Röhrenbrunnen eingerammt und mit Dampf sterilisiert wird, worauf mit der Wasserentnahme begonnen wird. Sobald kaltes Wasser zum Vorscheine kommt, wird die Probe zur bakteriologischen Untersuchung entnommen, die alsdann ergibt, ob das Wasser keimfrei ist oder nicht. Diese Methode konnte in unserem Falle nicht angewendet werden, da es sich in demselben um ein felsiges Terrain handelte.

Infolgedessen mufste ich bei jenen Erfahrungen Zuflucht suchen, welche die Keimzahl von Brunnen betreffen, in welche Grundwässer aus sterilen Schichten einmünden und in denen infolge stetigen Abpumpens das

Wasser fortwährend schnell erneuert und gewechselt wird.

Wir wissen nun auf Grund zahlreicher Erfahrungen, dafs die Zahl der im Wasser solcher Brunnen enthaltenen Keime zwischen 20—50 in 1 ccm schwankt.

Da auch in dem Wasserwerksbrunnen ein solch' rascher Wasserwechsel stattfindet, so dafs bei 13 Touren das Wasser fast in einer Stunde gewechselt wird, kann geschlossen werden, dafs für die Grundwasserkomponente, sofern dieselbe sterilen Bodenschichten entstammt, die angeführten Grenzwerte ihre Giltigkeit behalten.

Auf diese Weise wäre also der Mafsstab für beide Komponenten festgestellt.

Da das Wasser des Wasserwerksbrunnens eine Resultante der genannten Komponenten ist, so ist es klar, dafs die in dieser Resultante enthaltene Keimmenge zwischen 20—100 in 1 ccm schwanken kann, solange die Komponenten den hygienischen Anforderungen genügen sollen.

Betrachten wir nun das Resultat der bakteriologischen Untersuchung bezüglich der Keimzahl, soweit es jene Zeit betrifft, in welcher das Niveau des Wasserwerksbrunnens um 9 cm höher stand als dasjenige der Iser unter dem Wasserwerke, so kann man sagen, dafs das Brunnenwasser unter diesen Umständen zwar sehr rein ist, indem es blofs 337 Keime in 1 ccm enthält, dafs es jedoch trotzdem den eben abgeleiteten, an gute Trinkwässer gestellten Anforderungen nicht gerecht wird.

Aus diesem bakteriologischen Befunde geht weiterhin hervor, dafs entweder der Komponente des filtrierten

Iserwassers gewisse Mängel (worin dieselben bestehen könnten, wurde schon oben dargelegt) anhaften oder dafs die Grundwasserkomponente nichtsterilen Bodenschichten entstammt, oder aber, dafs vielleicht beide Komponenten gleichzeitig die Schuld tragen.

Welche von den angeführten Eventualitäten wirklich in Frage kommt, ist vorläufig mit Bestimmtheit nicht zu entscheiden.

Ich bin der Ansicht, dafs sich dies mit Hilfe einer Niveauherabdrückung feststellen liefse, bei welcher der Zuflufs des Wassers in den bei dem Wasserwerke verlaufenden Iserarm verschlossen wird (was thatsächlich einmal im Jahre geschieht); unter solchen Umständen wird nämlich das Iserniveau vor dem Wasserwerke etwa um 120 cm erniedrigt, wodurch auch die Niveaudifferenz des Flusses vor dem Wasserwerke und unter demselben ausgeglichen wird.

Im Hinblicke hierauf stellen sich die Verhältnisse der Grundwasserbewegung so, dafs die Grundwässer insgesamt dem Flusse zueilen; so kann also der Zutritt von filtriertem Wasser zum Brunnen (freilich bei mäfsigem Pumpen, damit der Brunnenspiegel etwa 10 cm über demjenigen des Flusses erhalten bleibe) ausgeschlossen werden.

Eine unter solchen Umständen durchgeführte chemische und bakteriologische Analyse würde uns über die Qualität der Grundwasserkomponente belehren, wodurch neue Daten zu weiteren Schlüssen gewonnen werden würden.

Gleichzeitig könnten auch Versuche über die Ausgiebigkeit dieser Komponente angestellt werden, die

wiederum einen Schlufs auf die Ausgiebigkeit der Komponente des filtrierten Wassers gestatten würden.

Bei dieser Gelegenheit will ich noch die von vielen Seiten gestellte Frage berühren, ob der Inhalt von Latrinen oder Stadtkanälen nicht durch irgend einen Rifs direkt in die Grundwässer unter der Stadt hineingelangt.

Es kann behauptet werden, dafs im grofsen und ganzen weder der chemische noch der bakteriologische Befund für solch eine direkte Kommunikation zeugt. Denn bei derselben könnte man mit Recht den Nachweis von Ammoniak und eine grofse Erhöhung der Keimzahl im Wasser erwarten, was jedoch nicht der Fall war.

Es ist nun an der Reihe, den sub b) angeführten Fall zu besprechen, der die Eventualität betrifft, wenn das Niveau der Iser unter dem Wasserwerke höher steht als dasjenige des Brunnens.

Aus den obenangeführten bakteriologischen Analysen geht hervor, dafs 1. die Keimzahl, sobald das Brunnenniveau unter den Spiegel der Iser unter dem Wasserwerke zu sinken beginnt, eine auffallende Steigerung erfährt. Bereits bei 24 Touren, d. h. bei einer Niveaudifferenz von 13 cm, geht die Keimzahl über 1000 hinaus und gleichzeitig kommen Bakterienarten zum Vorscheine, welche in der Iser zahlreich vertreten sind.

Aufserdem, was schon früher dargelegt wurde, dafs es nämlich bei intensiver Wasserentnahme zu einer Zeit, wo das Brunnenniveau tiefer liegt als dasjenige der Iser

unter dem Wasserwerke, zu einem Eindringen des unterhalb des Wasserwerkes verlaufenden Iserwassers kommt (Schema II), geht aus den angeführten Befunden des weiteren hervor, dafs entweder das Filtrationsvermögen der den Brunnen vom Flusse teilenden Schichten unvollkommen ist, oder aber dafs die Iser durch irgend einen unterirdischen Rifs mit der Iser kommuniziert.

Die Möglichkeit eines ungenügenden Filtrationseffektes ist nämlich aus dem Grunde in Erwägung zu ziehen, weil das linke Ufer der Iser durch den Bau des Wasserwerkes und des Wasserwerkskamines stark beschädigt und zerwühlt wurde, wodurch die durch feine Teilchen verlegten oberflächlichen Schichten (Filtrierhaut) vernichtet werden konnten.

Mit Rücksicht auf die Qualität des Wassers ist es freilich im Grunde gleichgültig, ob es sich um eine direkte Kommunikation oder um einen schlechten Filtrationseffekt handelt.

Aus dem Angeführten ist weiterhin zu ersehen, dafs bei einer Wasserentnahme, bei welcher das Brunnenniveau tiefer liegt als dasjenige der Iser, das Wasser den an ein Trinkwasser gestellten Anforderungen um so weniger genügen wird, je intensiver man schöpfen, d. h. je tiefer der Brunnenspiegel unter das Niveau der Iser unter dem Wasserwerke sinken wird.

Ich mufs nun die Resultate der chemischen Untersuchungen, namentlich im Verhältnisse zu den bakteriologischen, mit einigen Worten berühren.

Dies ist aus dem Grunde notwendig, weil die chemische Untersuchung nie ungünstige Resultate ergeben hat (dies gilt auch von meinen Analysen) und weil von vielen Seiten eben auf diese günstigen chemischen Ergebnisse das gröſste Accent gelegt wird.

Solchen Anschauungen gegenüber erlaube ich mir darauf hinzuweisen, daſs das Verhältnis dieser zwei Methoden und ihre Wichtigkeit am prägnantesten in dem sub b) diskutierten Falle ausgesprochen ist, in welchem nämlich das Brunnenniveau tiefer stand als der Iserspiegel.

In diesem Falle bemerkt man nämlich, daſs sich die chemische Untersuchung negativ verhält oder daſs sie eher auf eine gewisse scheinbare Verbesserung des Wassers bei intensiver Wasserentnahme hinweist, da der Abdampfrückstand, die Härte, Salpetersäure kleinere Zahlen aufweisen, wiewohl es eigentlich einem jeden klar sein muſs, daſs es sich unter solchen Verhältnissen in keinem Falle um eine Verbesserung, sondern um eine Verschlechterung handeln muſs.

Denn infolge der intensiveren Beimengung des Iserwassers, das einen kleinen Abdampfrückstand, eine geringe Härte und Salpetersäure nur in Spuren aufweist, muſs es zu einer Verminderung der betreffenden Stoffe kommen; dies bedeutet jedoch einen sehr geringen Vorteil im Verhältnis zu dem Eindringen der Iser, die an diesen Stellen infolge der Kanaleinmündung bakteriell bedeutend verunreinigt ist.

Endlich ist noch die Frage zu beantworten, ob etwa eine Rekonstruktion des Brunnens, bei welcher die Brunnentiefe auf 6 m vergröſsert wurde, nicht einen ungünstigen

Einfluſs auf die Qualität des Wassers des Wasserwerksbrunnens ausgeübt hat.[1])

In dieser Hinsicht ist nur soviel zu sagen, daſs der ungünstige Einfluſs der Vertiefung allem Anscheine nach nur darin beruhen kann, daſs infolge der Vertiefung bei gleichzeitiger Anschaffung neuer mächtiger Pumpmaschinen die Möglichkeit einer intensiveren Wasserentnahme aus dem Brunnen gegeben wurde[2]), wodurch freilich ein Herabsinken des Brunnenniveaus unter den Spiegel der Iser unter dem Wasserwerke und hiemit, wie oben erwähnt, auch eine groſse Qualitätsverschlechterung herbeigeführt werden muſste. Dies war freilich vor der Rekonstruktion des Wasserwerkes, solange die Pumpmaschinen schwach waren, so daſs das Brunnenniveau sich 10 cm hoch über dem Spiegel der Iser unter dem Wasserwerke erhielt (wie durch wiederholte Nivellierung des Niveaus zu jener Zeit konstatiert wurde), nicht möglich.

Wird jedoch aus diesem vertieften Brunnen das Wasser so geschöpft, daſs sich der Brunnenspiegel etwa 9 cm über demjenigen der Iser unter dem Wasserwerke hält, so weist es ungefähr dieselbe Qualität auf wie vor der Rekonstruktion, wie dies aus dem Vergleiche meiner bakteriologischen Analyse mit derjenigen, die von Prof.

---

[1]) Diese Frage wurde mir nämlich vorgelegt, da von einigen Seiten behauptet wurde, daſs gerade diese Vertiefung des Brunnens die Qualitätsverschlechterung herbeigeführt hat.

[2]) So fand ich, wie oben erwähnt wird, bei meinem ersten Besuche das Brunnenniveau um 40 cm tiefer als den Spiegel der Iser unter dem Wasserwerke. Die Menge des damals abgepumpten Wassers betrug ca. 20000 hl.

Hlava vor der Rekonstruktion ausgeführt wurde, hervorgeht. Denn in dieser letzteren (vor der Rekonstruktion ausgeführten) Analyse schwankte die Keimmenge zwischen 200—350 in 1 ccm[1]) Wasser. Mit dieser Zahl vergleiche man meinen Befund vom 29. XII. 1896.

Weiterhin erscheint es notwendig, die Resultate meiner bakteriologischen Analysen mit Rücksicht auf die bakteriologischen Analysen der am 9. Januar und 1. März 1896 entnommenen Proben des Wassers des Wasserwerksbrunnens zu besprechen.

Was die bakteriologische Analyse, zu welcher die Probe am 9. Januar entnommen wurde, betrifft, verweise ich auf die von mir gegebene und im Berichte über das Trinkwasser der kgl. Stadt Jungbunzlau auf Seite 49 veröffentlichte Erklärung.[2])

In Betreff der bakteriologischen[3]) Untersuchung vom 1. März 1896, zu welcher in Vertretung des Prof. Hlava Herr Dr. Honl die Probe nahm, ist folgendes zu bemerken:

---

[1]) Es soll bemerkt werden, dafs auf Grund dieser bakteriologischen Analyse das Wasser für unbeanstandet erklärt wurde.

[2]) Dem Verfasser dieses Artikels wurde als Mitglied des Landessanitätsrates im Amtswege eine Wasserprobe aus dem Wasserwerksbrunnen in *X* zugewendet. Da jedoch die Probe einige Tage am Wege war und nicht mit jenen Kautelen entnommen wurde, die erfordert werden, lautete das Gutachten in dem Sinne, dafs — wenn ein sicheres Urteil abgegeben werden sollte — es notwendig wäre, persönlich an Ort und Stelle Proben zu entnehmen.

[3]) Bei dieser Untersuchung wurden mehr als 4000 Keime in 1 ccm nachgewiesen.

Herr Dr. Honl entnahm, um augenscheinlich das Wasser der einzelnen, aus den Felsenrissen in den Brunnen einmündenden Quellen zu erhalten, welche Methode — nämlich die direkte Wasserentnahme aus den den Brunnen versorgenden Quellen nach dem Vorgange von Gruber — bei der Untersuchung von Brunnenwässern manchmal mit Vorteil gebraucht wird, die Wasserproben in der Weise, dafs er das Brunnenniveau bis fast auf den Boden des Brunnens herabdrücken liefs. (Um dies zu bewerkstelligen, mufsten nicht nur die beiden Wasserwerkspumpen, sondern aufserdem auch noch eine Centrifugalpumpe in Gang gebracht werden).

Unter diesen Verhältnissen stand jedoch der Brunnenspiegel um etwa 3.5 m tiefer als das Niveau der Iser unter dem Wasserwerke und etwa 4.7 m (was dem Drucke etwa einer halben Atmosphäre entspricht!) tiefer als das Niveau der Iser oberhalb des Wasserwerkes.

Es ist klar, dafs unter solchen Verhältnissen der Depressionskegel wahrscheinlich hinauf bis zur Vorstadt Pták (über 1000 m entfernt) und hinab wahrscheinlich auch (mit Rücksicht auf die bei der Wasserentnahme und Bohrung des Brunnens gewonnenen Erfahrungen) recht tief reichte.

Unter solchen Umständen war freilich das aus den Felsenrissen den Brunnen versorgende Wasser zum gröfsten Teile sehr dürftig filtriertes Iserwasser.

Denn der Filtrationseffekt ist, wie die Erfahrungen über die Sandfiltration lehren, desto schlechter, je gröfser der angewendete Überdruck ist, so dafs bei der Sand-

filtration höchstens ein Überdruck von etwa 70 bis 80 cm zur Anwendung gelangt.

Es kann gewifs nicht überraschen, wenn unter solchen Umständen in 1 ccm 4000 Keime nachgewiesen wurden; im Gegenteile konnte dieses Resultat eigentlich vorausgesehen werden.

II. Gutachten,

betreffend Untersuchungen der Wasserwerksquellen bei Herabdrückung des Iserniveaus (am 5., 6., 7. Juli 1897).

Zur gebührenden Würdigung des Zweckes, der Bedeutung und der Konsequenzen der am 5., 6., 7. Juli 1897 vorgenommenen Untersuchungen mufs die genaue Kenntnis der vorhergehenden Zeilen vorausgesetzt werden.

In denselben wurde vor allem festgestellt, dafs die Intensität der Wasserentnahme einen grofsen Einflufs auf die Qualität des Wassers ausübt und zwar in dem Sinne, dafs

1. die Qualität des Wassers sich bei intensiverer Wasserentnahme, wobei das Brunnenniveau unter dasjenige der Iser unter dem Wasserwerke sinkt, in auffallender Weise verschlechtert.

2. Bei mäfsiger Wasserentnahme, wobei der Brunnenspiegel sich über demjenigen der Iser unter dem Wasserwerke erhält, verbessert sich die Qualität des Wassers zwar beträchtlich, genügt jedoch selbst bei einer solchen Verbesserung den an ein Trink-

wasser gestellten hygienischen Anforderungen nicht.

Was die Ursachen der grofsen Verschlechterung der Qualität des Wassers unter Umständen betrifft, während welcher der Brunnenspiegel tiefer liegt als das Niveau der Iser unter dem Wasserwerke, wurde hervorgehoben, dafs der Zuflufs des ungenügend filtrierten Iserwassers von unter dem Wasserwerke gelegenen Stellen die Schuld trägt.

Als Grund der ungenügenden Qualität unter Umständen, während welcher sich das Brunnenniveau um einige Centimeter höher erhält als dasjenige der Iser unter dem Wasserwerke, wurde angeführt, dafs entweder die Grundwasserkomponente nichtsterilen Bodenschichten entstammt, oder dafs die in den Brunnen gelangende Komponente des filtrierten Iserwassers (Schema I) von unzureichender Qualität ist, oder aber dafs beide Komponenten zugleich an der ungenügenden Qualität schuld sind.

Weiterhin wurde darauf hingewiesen, dafs eine Entscheidung darüber, welche von den angeführten Eventualitäten die Unzulänglichkeiten der Qualität bedingen, auf Grund chemischer und bakteriologischer Untersuchungen möglich wäre, die während einer Herabdrückung des Iserniveaus im Mühlgraben vorzunehmen wären, da hierbei die Komponente des filtrierten Wassers (von seiten der oberhalb der Wasserwerke in den Brunnen eindringenden Iser) wegfällt und also der Brunnen blofs von der Grundwasserkomponente versorgt wird.

Im Hinblicke darauf haben die während der Niveauherabdrückung am 5., 6., 7. Juli vorgenommenen

chemischen und bakteriologischen Untersuchungen hauptsächlich den Zweck verfolgt, die Qualität der Grundwasserkomponente festzustellen.

Der weitere Zweck dieser Versuche war die Feststellung der Ergiebigkeit des Wasserwerksbrunnens zu einer Zeit, wo derselbe vom Grundwasser versorgt wird.

Außer den während der Niveauherabdrückung entnommenen Proben wurden einige auch vor derselben genommen. Die Resultate der chemischen und bakteriologischen Untersuchung sind in der nachstehenden Tabelle (siehe Seite 222 und 223) zusammengestellt.

Es müssen nun die aus den in der folgenden Tabelle zusammengestellten Zahlen hervorgehenden Schlußfolgerungen besprochen werden.

Vor allem sind die an den Tagen vor der Niveauherabdrückung erhaltenen Zahlen zu diskutieren.

Da ist erstens zu verzeichnen, daß am 3. und 4. Juli 1897 das Brunnenniveau bedeutend tiefer stand als das Niveau der Iser unter dem Wasserwerke (am 3. VII. beispielsweise um 32 cm). Als ich nach der Ursache dieser Erscheinung forschte, wurde mir mitgeteilt, daß — um die gewünschte Wassermenge in die Stadt zu liefern — mehr als 20 Touren gemacht werden mußten, wodurch das Brunnenniveau unter dasjenige der Iser herabfiel.

Ich bemerke, daß die Frage der Ergiebigkeit des Brunnens später zur Besprechung gelangen wird.

Die Keimzahl betrug am 3. und 4. Juli vor der Niveauherabdrückung über 1000 in 1 ccm.

Diese hohe Keimzahl kann mit Rücksicht auf das im I. Teile Angeführte durch Eindringen des Iserwassers von seiten der Iser unter dem Wasserwerke leicht erklärt werden, wodurch, wie im I. Teile gezeigt wurde, die Qualität des Brunnenwassers eine auffallende Verschlechterung erfährt.

Aus dem Umstande jedoch, dafs sich der Filtrationseffekt im Verlaufe von sechs Monaten nicht verbessert hat (denn in den Weihnachten 1896 betrug die Keimzahl unter Umständen, unter welchen das Brunnenniveau um 13 cm tiefer stand, als das der Iser unter dem Wasserwerke, 1123 pro ccm), kann mit aller Wahrscheinlichkeit geschlossen werden, dafs durch irgendwelche Risse Wasser in den Brunnen eindringt, weshalb sich freilich keine gute Filterhaut bilden kann.

In der chemischen Analyse fesselt an erster Stelle der Befund der salpetrigen Säure die Aufmerksamkeit.

Hinsichtlich dieser Verbindung mufs hervorgehoben werden, dafs der Befund derselben im Brunnenwasser wohl keine konstante Erscheinung ist. Bei meinen früheren Untersuchungen habe ich sie nie nachweisen können. Desgleichen sind die das Wasser untersuchenden Chemiker ihr niemals begegnet.

Man mufs jedoch im Auge behalten, dafs selbst ein vereinzelter Befund von salpetriger Säure mehr Beweiskraft besitzt, als eine ganze Reihe negativer Befunde. Der Ursprung und die Bedeutung derselben werden später erklärt werden.

Zeit der Probeentnahme		Tourenzahl in der Minute	Niveaustand			Um wieviel Centimeter stand d. Iser unter dem Wasserwerke höher oder tiefer als das Brunnenniveau	Abdampfrückstand	Härte in deutsch. Härtegraden	Chlor	Salpetersäure	Salpetrige Säure	Ammoniak	Organ. Stoffe zur Oxydation verbrauchter Sauerstoff)	Keimmenge in 1 ccm auf Kochs alkal. Fleischpeptongelatine
Tag	Stunde		Unter d. Wasserwerke	im Brunnen	Oberhalb d. Wasserwerkes									
							g		mg	mg			mg	
3. VII. 1897	12 U. mittags	Von 6 U. morgens bis 12 U. mittags durchschnittlich 21.1	+ 8	− 24	+ 4	Das Brunnenniveau um 32 cm tiefer als das der Iser u. d. W.	—	—	—	—	—	—	—	Über 1000 Wegen vorzeitig. Verflüssig. konnte eine präzise Abzählung nicht vorgenommen werd.
	6 U. abends	Von 12 U. mittags bis 6 U. abends durchschnittlich 19.7	− 2	− 24	+ 6	Das Brunnenniveau um 22 cm tiefer	0.372	13.2°	16	26.6	Spuren	—	0.5	Über 1000
4. VII. 1897	3/4 10 U. vorm.	Von 6 U. morgens bis 12 U. mittags durchschnittlich 17.7	+ 4	− 5	+ 6	Das Brunnenniveau um 9 cm tiefer	—	—	—	—	—	—	—	1380
	5 U. nachm.	Von 12 U. mittags bis 6 U. abends durchschnittlich 15	+ 10[1])	− 4	− 5	Das Brunnenniveau um 14 cm[2]) tiefer	0.341	13.1°	16	26.6	Spuren	kaum kenntliche Spuren	0.5	1100

Um 1/4 7 Uhr hat man angefangen, das Niveau der Iser im Mühlarme herabzudrücken.

5. VII. 1897	9 U. früh	Von 6 U. morgens bis 12 U. mittags durchschnittlich 18.6	— 55	— 23	— 110	Das Brunnenniveau um 22 cm höher	—	—	—	—	—	—	—	489
	12 U. mittags	Ditto	— 67	— 36	— 150	Das Brunnenniveau um 31 cm höher	—	—	—	—	—	—	—	395
	Nach der 6. Stunde rifs oben der Damm durch, was ein bedeutendes Anschwellen des Mühlgrabenwassers wiederum zur Folge hatte.													
6. VII. 1897	8 U. morg.	Von 6 U. morgens bis 12 U. mittags durchschnittlich 14.6	— 72	— 37	— 165	Das Brunnenniveau um 35 cm höher	0.395	13.6°	16.5	26.6	Spuren (die Reaktion intensiver)	kaum kenntliche Spuren	0.5	608
	12 U. mittags	Ditto	— 79	— 42	— 180	Das Brunnenniveau um 37 cm höher	—	—	—	—	—	—	—	520
7. VII. 1897	7 1/2 U. morg.	Von 12 U. nachts bis 6 U. morgens 12.5 Von 6 U. morgens bis 12 U. mittags 13.3	— 81	— 40	D. Flufsbett wasserfrei	Das Brunnenniveau um 41 cm höher	0.382	13.8°	16.2	27.3	Spuren	kaum kenntliche Spuren	0.5	320
	6 U. abends	Von 12 U. mittags bis 6 U. abends durchschnittl. 11.7	— 81	— 45.5	Ditto	Das Brunnenniveau um 35.5 cm höher	0.387	14.6°	18.5	27.9	Spuren	ditto	0.4	548
							per 1 Liter gerechnet							

[1]) Der Niveauaufstieg kam kurze Zeit vor der Ablesung zu Stande.

[2]) Die Niveaudifferenz im Brunnen und der Iser entspricht nicht den wirklichen Verhältnissen der Wasserentnahme, da sich das Brunnenniveau in so kurzer Zeit den veränderten Verhältnissen nicht zu accomodieren vermochte.

Nunmehr wenden wir uns den Resultaten der chemischen und bakteriologischen Untersuchung zur Zeit der Niveauherabdrückung zu.

Zur Entscheidung der oben gestellten Fragen können jedoch nur die Resultate der chemischen und bakteriologischen Untersuchung vom 7. VII. angewendet werden und zwar aus dem Grunde, weil am 5. VII gegen Abend oben am Mühlgrabenarme ein Dammrifs erfolgte, der ein bedeutendes Anschwellen des am Wasserwerke verlaufenden Armes zur Folge hatte. Der Dammrifs wurde zwar bald repariert, trotzdem währte es bis Mittag am 6. VII., ehe der Mühlgraben wasserfrei war.

Wie oben dargelegt wurde, legen die Resultate der chemischen und bakteriologischen Untersuchungen der am 7. Juli entnommenen Proben Zeugnis von der Qualität der Grundwasserkomponente ab.

Dafs der Zuflufs des Iserwassers zum Brunnen sowohl von seiten des Mühlgrabens als auch von seiten des Hauptstromes der Iser gänzlich ausgeschlossen war, ergeben die nachfolgenden Thatsachen:

a) Das Niveau der Iser unter dem Wasserwerke stand am 7. Juli um $7^1/_2$ Uhr morgens um 41 cm, um 6 Uhr abends um 35.5 cm tiefer, als der Brunnenspiegel.

b) Das Bett des Mühlgrabens ober dem Wasserwerke war wasserfrei.

c) Durch Nivellierung des Niveaus der Iser unter dem Wasserwerke und derjenigen des Hauptstromes wurde festgestellt, dafs sich beide ungefähr auf derselben Höhe erhalten. (Die Côte des Iserniveaus unter dem Wasserwerke beim Pegel entsprach 7.35; die Côte des

Hauptstromes unter dem Hauptwehre 7.26; das Gefälle vom Wehre des Hauptstromes zu den gegenüber dem Wasserwerke liegenden Stellen betrug 6 cm.

Welche Schlufsfolgerungen können also aus den am 7. Juli 1897 erhaltenen Befunden gezogen werden?

Vor allem kann geschlossen werden, dafs — wie im ersten Teile mit grofser Wahrscheinlichkeit nachgewiesen wurde — thatsächlich ein Zuflufs von seiten der Iser ober dem Wasserwerke existiert. Zum Beweise kann angeführt werden, dafs am 7. VII. um 6 Uhr abends die Härte, das Chlor und die Salpetersäure bedeutend höhere Werte erlangt haben als in den vorigen Tagen und zugleich auch höhere, als in den Weihnachtstagen am 29. XII. 1896 (siehe das I. Gutachten).

Der wichtigste aus den am 7. VII. 1897 vorgenommenen Untersuchungen sich ergebende Schlufs ist der, dafs die Grundwasserkomponente nichtsterilen Bodenschichten entstammt.

Der Hauptbeweis für diese Behauptung wird damit erbracht, dafs die am 7. VII. 1897 nachgewiesene Keimmenge, d. h. 320 und 548 per ccm viel gröfser ist als die im 1. Gutachten abgeleitete Grenzzahl.

Weiterhin wird der oben angeführte Schlufs auch durch den Befund von salpetriger Säure gestützt, welcher den Nachweis liefert, dafs in jene Bodenschichten, welche das den Wasserwerksbrunnen versorgende Grundwasser durchfliefst, auf irgend welcher Stelle organische stickstoffhaltige Stoffe Zutritt finden.

Es frägt sich nun, wo die Ursache der Qualitätsverschlechterung des Grundwassers zu suchen ist. In

dieser Hinsicht liefert die Lokaluntersuchung eine gewisse Direktive. Wie im ersten Teile angeführt wurde, befindet sich in geringer Entfernung ober dem Wasserwerke ein Kanal, der senkrecht zur Iser verläuft und ebenso in dieselbe einmündet. Es wurde mir nunmehr mitgeteilt, daſs sich dieser Kanal, dessen Basis zur Zeit der Niveauherabdrückung höchstens 1.80 m vom Niveau des Grundwassers entfernt ist (normalerweise freilich noch viel weniger) nicht in gutem Zustande befindet. Unter solchen Umständen ist freilich die Möglichkeit einer Verschlechterung des Grundwassers durch den Fäkalien führenden Kanal gegeben und somit auch die Möglichkeit, die bakteriologischen und chemischen Untersuchungen mit der Lokaluntersuchung in Einklang zu bringen.

Ob jedoch der erwähnte Kanal die einzige Ursache der Grundwasserverunreinigung ist, oder aber ob dasselbe noch an anderen Stellen verunreinigt wird, kann überhaupt nicht entschieden werden.

Es handelt sich nunmehr darum, noch die Qualität des Fluſswasserzuflusses von seiten der Iser ober dem Wasserwerke (die Komponente des filtrierten Wassers) in Erwägung zu ziehen.

Mit Hinsicht auf diese Komponente sind freilich keine direkten chemischen und bakteriologischen Daten herbeizuschaffen. Nimmt man jedoch darauf Rücksicht, daſs (wie aus den die Grundwasserströmung illustrierenden Figuren im I. Gutachten hervorgeht), die Richtung dieser Komponente sich mit groſser Wahrscheinlichkeit mit der Richtung des obenerwähnten Kanales kreuzt und daſs weiterhin die Basis dieses unzureichenden Kanales unter

normalen Verhältnissen durch eine sehr geringe Bodenfilterschichte von dem Niveau der betreffenden Komponente getrennt ist, so kann man mit grofser Wahrscheinlichkeit schliefsen, dafs auch die Qualität dieser Komponente durch die Einwirkung des Kanales Verschlechterungen ausgesetzt sein kann.

Nunmehr treten wir an die Frage der Ausgiebigkeit der Grundwasserquellen des Wasserwerksbrunnens heran.

Da haben wir zuerst jene Ausgiebigkeit im Auge, welche zu Tage treten würde, wenn das Grundwasser aus den umliegenden Rissen frei zur Iser abfliefsen könnte.

In dieser Hinsicht sind teils die am 7. Juli von 12 Uhr mittags bis 6 Uhr abends ausgeführten Niveaumessungen, während welcher Zeit sich das Brunnenniveau stetig auf gleicher Höhe erhielt, teils die in derselben Zeit erzielten Tourenzahlen mafsgebend.

Der Niveaustand war damals der folgende:

	unter dem Wasserwerke cm	im Brunnen cm	ober dem Wasserwerke
12 U. mitt.	81	46	das Flufsbett wasserfrei,
2 » nachm.	81.5	44	» » »
3 » »	82	47	» » »
4 » »	81	45.5	» » »
5 » »	81	45	» » »
6 » »	81	45.5	» » »

Die während der Zeit von 12 Uhr mittags bis 6 Uhr abends erzielte Tourenzahl = 4221, was 11.7 Touren per Minute entspricht.

Da, wie im I. Gutachten ausgerechnet wurde, eine Tour 54 l entspricht, so beziffert sich die ganze während 24 Stunden abgepumpte Wassermenge auf 9117 hl.

Nimmt man den allgemeinen Stand der Iser, der zur Zeit des Versuches dem Nullpunkte der Normale nahe war, zum Maſsstabe der Niederschläge durch Regen, so würden die 9117 hl den Mittelwert der normalen Ergiebigkeit der Grundwasserquellen des Wasserwerksbrunnens angeben. Es ist daher klar, daſs in trockenen Jahren diese Menge bedeutend reduziert werden könnte.

Es frägt sich nun, wie hoch die Ergiebigkeit des Brunnens geschätzt werden kann, wenn sich dem Grundwasser die Komponente des filtrierten Wassers der Iser ober dem Wasserwerke zugesellt, d. h. wenn unter normalen Wasserverhältnissen der Iser derart geschöpft wird, daſs sich der Brunnenspiegel einige Centimeter über demjenigen der Iser unter dem Wasserwerke erhält.

Auf Grund der oben beigeschlossenen Tabelle kann geschlossen werden, daſs die dieser Ergiebigkeit entsprechende Wassermenge bedeutend geringer sein wird, als die bei 17.7 Touren per Minute abgepumpte Wassermenge, da bei 17.7 Touren per Minute das Brunnenniveau um 9 cm tiefer stand als dasjenige der Iser unter dem Wasserwerke.

Nehmen wir weiterhin die in den Weihnachtstagen erhaltenen, im I. Gutachten sub 28. XII. und 29. XII. angeführten Zahlen zu Hilfe, wo bei 16 Touren der Brunnenspiegel um 3 cm tiefer und bei 13 Touren um 9 cm höher stand als das Niveau der Iser unter dem Wasserwerke, so werden wir bemerken, daſs etwa 14 Touren

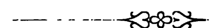
per Minute jenem Wasserquantum entsprechen werden, das bei der Normale nahen Wasserständen der Iser abgeschöpft werden kann, um den Brunnenspiegel noch einige (3—4) cm höher zu erhalten als das Niveau der Iser unter dem Wasserwerke.

Die normale mittlere Ergiebigkeit des Brunnens würde also unter den angeführten Umständen

$24 \times 60 \times 14 \times 54 = 1\,088\,640$ l, d. h. 10 886.4 hl

oder annähernd 11 000 hl entsprechen.

Rechnet man nun die Bewohnerzahl der Stadt mit 13000, so würden täglich 83 l auf die Person entfallen, eine Wassermenge, die zwar genügen könnte, jedoch nur bei sparsamer Wasserwirtschaft. In trockenen Jahren könnte diese Zahl noch bedeutend reduziert werden.



Sach- und Namenregister.

Druckfehler-Berichtigungen.

Seite 46 Zeile 1 von oben mufs es statt:

dessen Körner 2—3 mm
dessen Körner 1—3 mm heifsen.

Seite 67 Zeile 7 von oben mufs es statt:

Calcium-, Magnesium-Oxyd- und Schwefelsäure
Calcium-, Magnesium-Oxyd und Schwefelsäure heifsen.

